



TRABAJO FIN DE GRADO

Director: Domingo Rasilla Álvarez

Curso: 2018/2019

CLIMA Y VITICULTURA EN LA RIOJA

CLIMATE AND VITICULTURE IN LA RIOJA

Raquel Aransay González

14 de junio de 2019

RESUMEN

El vino de Rioja no sólo es un elemento icónico de la comunidad autónoma de La Rioja, sino también una de sus principales fuentes de riqueza. Sin embargo, esta situación podría revertirse como consecuencia del cambio climático antrópico. Para anticipar esas consecuencias, este Trabajo de Fin de Grado analiza la evolución climática reciente (1950-2018) de la región y su efecto sobre el vino de Rioja.

Durante el periodo de análisis, la evolución climática regional ha experimentado un incremento de las temperaturas, más acusado en las mínimas nocturnas estivales, y una reducción de los excedentes hídricos. Como consecuencia, los vinos de Rioja poseen un mayor contenido alcohólico y una menor acidez, mientras los ciclos fenológicos de la uva se han adelantado.

Esta evolución, que está en consonancia con los escenarios de cambio climático propuestos para la Península Ibérica, supone un desafío para el futuro de esta agroindustria, por lo que también se revisan sus posibles consecuencias y las medidas propuestas para mitigarlas.

Palabras clave: viticultura, Rioja, clima.

Abstract

Rioja wine is not only an icon for La Rioja, but also one of the main sources of wealth. However, this situation might reverse as a result of the effects of anthropogenic climate change. In order to advance their consequences, this dissertation analyzes the recent climatic evolution (1950-2018) of the region and its possible effect on Rioja wines.

During the period of analysis, the regional climatic evolution has experienced an increase in temperature, more pronounced in the summer nocturnal minima, and a reduction in water resources. Today, Rioja wines show a higher alcohol content and lower acidity, while the timing of phenological cycles of the grapes have advanced.

This evolution, which is in line with the climate change scenarios proposed for the Iberian Peninsula, represents a challenge for the future of this agro-industry, whose consequences and mitigation measured are also reviewed.

Key words: viticulture, Rioja wine, climate.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS

1.1. Descripción del problema

1.2. Objetivos

1.3. Estructura del trabajo.

2. ANTECEDENTES

2.1. La influencia del clima en la viticultura

2.2. Evolución histórica del viñedo en La Rioja

3. FUENTES Y METODOLOGÍA

3.1. Caracterización del área de estudio

3.2. Fuentes de información

3.3. Metodología

4. RESULTADOS

4.1. El vino de Rioja en la actualidad

4.2. Evolución climática regional

4.2.1. Variables termo-pluviométricas

4.2.2. Índices bioclimáticos

4.2.3. Extremos climáticos

4.2.4. Cambios en los recursos hídricos

4.2.5. Influencia de los cambios climáticos recientes en la cantidad y calidad
del vino de Rioja

5. DISCUSIÓN

6. CONCLUSIONES

7. ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

8. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer especialmente a mi director de TFG, Domingo Rasilla, por su dedicación en este trabajo y por la confianza depositada en mí. Este trabajo me ha servido para no olvidarme de donde vengo y valorar más la cultura y tradición de La Rioja. Por eso, gracias Domingo por brindarme esta oportunidad.

Gracias a AeMet Cantabria y al Consejo Regulador de La Rioja por proporcionarme la información y datos necesarios para fundamentar los resultados científicos y estadísticos de este trabajo.

También quiero agradecer a los profesionales que han dedicado su tiempo personal y me han proporcionado una gran ayuda. Muchas gracias a Martín Martínez, por recibirme en la Consejería de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente. Gracias a Gabino García por abrirme las puertas de Marqués de Riscal, y a Esteban Ponce de León por acogerme allí y dedicarme su tiempo. Gracias a Antonio Ramesal, de la Casa del Vino de Laguardia, por su interés en mi trabajo y resolverme numerosas dudas. Gracias a Luis Sáenz, de Finca Valdeguinea, por mostrarme sus experiencias personales con la viticultura. Y gracias a Ángel Bastida, Jefe del Servicio Técnico de Control de Dominio Público Hidráulico de la Confederación Hidrográfica del Ebro, por atender miconsulta.

Agradecer a mis compañeros de clase, en especial a Francisco Conde y Elma Cidoncha, por ser mis dos puntos de apoyo en el grado durante estos años. Las horas de biblioteca y trabajo en equipo han merecido la pena.

A las nuevas amistades que me ha regalado esta etapa de mi vida, y a aquellas de antes que aún mantengo. Los momentos compartidos y vuestro interés por mi pasión hacia la Geografía han sido una motivación fundamental.

Y sobre todo, gracias a mi familia. A mi padre por darme la libertad en mis decisiones y tratar siempre de guiarme por el camino. A mis abuelos por estar siempre orgullosos de mi esfuerzo y resultados. A mi hermana, por ser la persona que más confía en mí. A mi tía Maripaz, por su diversión y amor. Y por supuesto, gracias a ti mamá, eres la luz, fuerza y calma en mis días, el ejemplo a seguir en mi vida.

En estos cuatro años me he sentido muy bien acogida en Cantabria, la que ahora considero mi “tierruca”.

1. MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS

1.1.Descripción del problema

El sector vitícola es una de las agroindustrias más importantes de La Rioja, tanto desde el punto de vista económico (Larreina, 2005) como señal de identidad de la región (Urbano, 2017). Sin embargo, este sector afronta incertidumbres a corto y medio plazo. Por un lado, la necesidad de una mayor presencia internacional, debido fundamentalmente a la caída del consumo nacional y a las diferentes reformas promovidas desde la Comunidad Económica Europea. Ambos factores han propiciado mayores excedentes de uva que requieren, por tanto, la búsqueda de nuevos mercados. Pero para competir en un mercado internacional cada vez más exigente, los vinos de Rioja deben mantener un equilibrio entre calidad y precio (Larreina, 2011).

El segundo desafío son las consecuencias derivadas del cambio climático propiciado por las actividades humanas. Éste plantea, según los últimos escenarios, un aumento térmico y una reducción de los excedentes hídricos como consecuencias más evidentes e inmediatas (<http://escenarios.adaptecca.es>). Dada la estrecha relación entre el clima y la viticultura, estas condiciones podrían incidir tanto en la producción como en la calidad del vino de Rioja, reduciendo por ello las posibilidades de competir en un mercado globalizado. La vulnerabilidad de la viticultura al cambio climático no sólo dependerá de la magnitud de los impactos, sino también de la capacidad de adaptación de las empresas vitícola a esos escenarios, siendo esta última dependiente a su vez, de la disponibilidad de recursos financieros y tecnológicos, de las perspectivas comerciales y de la existencia de un marco normativo adecuado (Resco, 2015; Tonietto et al, 2012).

1.2.Objetivos

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es analizar la evolución reciente (1950-2018) del clima de La Rioja y su impacto sobre el vino de Rioja, a través de 4 aspectos:

- Producción vitícola.
- Calidad del vino.
- Composición química del vino.
- Fenología de la vid.

1.3. Estructura del trabajo

Para cumplir con estos objetivos el TFG está estructurado en 6 capítulos. El Capítulo 1 explica las causas que han impulsado este trabajo. En el Capítulo 2 se describen los antecedentes, haciendo referencia a la relación entre el clima y la viticultura, a escala global, para a continuación centrarse en la evolución histórica del sector vitícola en La Rioja. El Capítulo 3 describe las fuentes de información utilizadas en el trabajo, y los procedimientos metodológicos usados para cumplir con los objetivos marcados. El Capítulo 4 desarrolla los resultados obtenidos de la aplicación de esas metodologías a las fuentes de información utilizadas. El Capítulo 5 discute los cambios observados en comparación con otras regiones vitícolas, así como el posible impacto de los escenarios de cambio climático y las adaptaciones que están planteándose para superar esas restricciones. Finalmente, el Capítulo 6 resume las conclusiones obtenidas.

2. ANTECEDENTES

Desde la introducción de la vid en la Península Ibérica, su cultivo ha evolucionado atendiendo a factores humanos y naturales. Para entender cuál es el impacto de la evolución reciente del clima sobre los vinos de Rioja, es necesario entender la estrecha conexión entre ambos factores.

2.1. La influencia del clima en la viticultura

Las primeras referencias arqueológicas al cultivo de la vid y a la producción de vino proceden de Oriente Medio, aproximadamente en el año 4500 a.C. Desde allí se extendió rápidamente por todo el ámbito mediterráneo, siguiendo la expansión comercial de fenicios y griegos. Posteriormente, con el Imperio Romano alcanzaría ámbitos aún más alejados, como los valles del Danubio y del Rin, extendiéndose posteriormente a otros continentes siguiendo la expansión colonial europea. Hoy en día, el cultivo de la vid se extiende por los 5 continentes (Figura 2.1), pero constreñido a unos límites latitudinales precisos (30-50° en el Hemisferio N, y entre los 28° u 42° en el Hemisferio Sur).

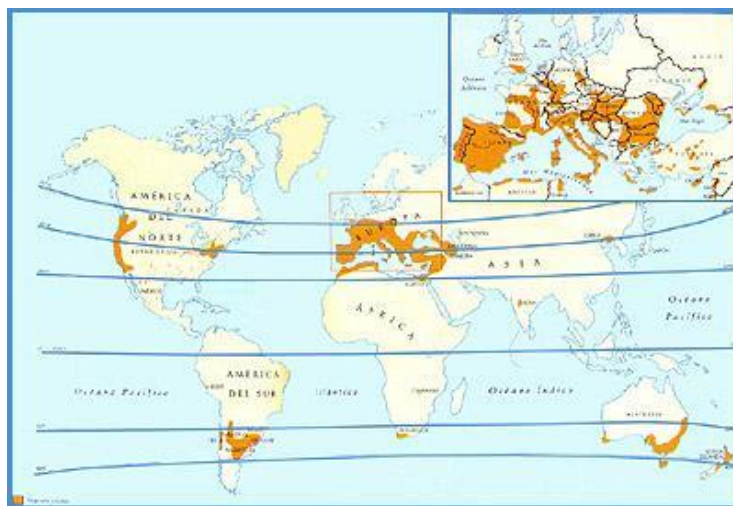


Figura 2.1. Distribución espacial de la vid en el mundo. Fuente: Catadelvino.com, 2019.

La mayor parte de estas regiones corresponden a climas templados, tanto de fachada occidental (climas mediterráneos, categoría Csa/Csb) como de fachada oriental (climas Cfa); no obstante, también se cultivan las vides en climas más húmedos (Cfb) o más continentales (Dfa; Gladstones, 1992). Pero sin lugar a dudas, es en los ámbitos mediterráneos dónde aparece más frecuentemente, normalmente unido al olivo y al cereal (triada mediterránea), debido a que se encuentra en un entorno con condiciones ambientales favorables para su cultivo, tanto edáficas como climáticas (Riquelme y Ramos2005; Santos et al, 2012).

Junto a otros factores del medio físico, como los suelos o la topografía, la orientación y la pendiente, el clima es determinante tanto en la cantidad como en la calidad de los vinos a través de su influencia sobre la fisiología de la vid (Tablas 2.1 y 2.2). La temperatura es, con mucho, el parámetro de mayor relevancia; la vid exige sobre todo calor durante la temporada de desarrollo y maduración de los frutos, e influye directamente en los niveles de azúcar, ácidos y aromas y coloración (Tonietto y Carboneau, 2004; Jones et al, 2005). Para que los ciclos de fotosíntesis y madurez se produzcan se requieren unas temperaturas que suelen oscilar entre los 10 y 30°C, pero también es sensible a los extremos térmicos; si las temperaturas superan los 35°C se detiene el proceso de maduración, reduciendo su calidad (Morietal., 2007),mientras que heladas intensas pueden matar la planta. La amplitud térmica diaria también es otro parámetro influyente, ya que, cuanto mayor sea la diferencia entre el día y la noche mayor será la acidez.

ETAPA	FECHA DE INICIO	NECESIDADES
I.- Brotación	Mediados de marzo o la primera semana de abril con T media >10°C.	Abundante humedad del suelo, sol y temperaturas superiores a los 10°C para el crecimiento vegetativo.
		Las heladas pueden reducir los rendimientos y la calidad.
II.- Floración- Envero	Final primavera, con T media >15°C.	Condiciones secas y temperaturas estables para no obstaculizar el crecimiento de las flores
III.- Envero - Maduración – Cosecha	Finales de julio o la primera semana de agosto.	Condiciones secas para limitar la podredumbre de la uva con temperaturas moderadas, pero sin estrés excesivo.
		Salto térmico importante entre el día y la noche.
		Maduración en época fresca pero con calor suficiente para la acumulación de azúcares y desarrollo del aroma de las bayas.
IV.- Latencia	Generalmente entre finales de septiembre y mediados de octubre.	Invierno frío y lluvioso.

Tabla 2.1. Necesidades climáticas de la vid según los periodos de crecimiento. Fuente: Resco et al., 2014.

	Temperatura diurna	Temperatura nocturna
Alta	Mayor tasa fotosintética. Mayor rapidez tanto en el metabolismo de ácidos como en la producción de aromas.	Degradación rápida del ácido málico. Degradación parcial de azúcares y otros compuestos como antocianos.
Baja	Menor tasa de fotosíntesis. Mayor lentitud en el metabolismo de ácidos.	Degradación lenta del ácido málico. Buena retención de azúcares. Menor metabolismo de componentes como antocianos.

Tabla 2.2. Consecuencias para la vid de la variación diaria de la temperatura. Fuente: Sotes et al., 2004.

Con respecto a las precipitaciones, cabe señalar que la vid resiste muy bien la falta de humedad. Su sistema radicular aprovecha la humedad de las capas profundas, resistiendo la ausencia de lluvias estivales, típica del clima mediterráneo; de hecho, para una correcta floración y maduración necesita ambientes secos (Coipel et al., 2006). Un exceso de lluvia, además de provocar enfermedades en la planta y en los racimos, perjudica la maduración de la uva. Cabe señalar que la importancia no recae tanto en su volumen total a lo largo del año, sino en su distribución temporal, especialmente

durante momentos concretos de la evolución fenológica de la planta. En circunstancias ideales, la mayor parte de la lluvia debería recibirse durante los meses de invierno y primavera; un verano con abundantes lluvias es propenso a la expansión de enfermedades fúngicas y la división de bayas, además de reducir los niveles de azúcares. Para el cálculo de las necesidades hídricas de la vid es preciso estudiar también la evapotranspiración (Carbonneau, 1998), ya que la transpiración foliar está ligada con las condiciones de humedad del suelo y déficit depresión de vapor en la atmósfera (Choné et al., 2001). Por último, las viñas necesitan aproximadamente un mínimo de 1300–1500 horas de sol durante la temporada de crecimiento.

La variabilidad interanual del clima también es importante (Esteves y Manso, 2001): los años cálidos tienden a producir vinos con niveles de azúcares más altos, pero menos acidez y taninos. En cambio, los años más fríos tienden a producir un vino más ácido, pero con menos azúcares y menor graduación alcohólica.

2.2. Evolución histórica del viñedo en La Rioja

Aunque se atribuye a los romanos la introducción de la vid en el valle del Ebro (Urbano, 2017), las primeras referencias escritas provienen de la Edad Media, momento en el cual se desarrolló una primitiva cultura vitícola en los núcleos de población (por ejemplo, Haro y Logroño) próximos a monasterios y abadías, como el de San Millán de La Cogolla (Gómez Urdáñez, 2013). Durante los siguientes siglos, esta producción inicial, de carácter local, comenzó a exportarse y llegó hasta Europa, lo que redundó en un aumento de la producción y en la implantación de las primeras medidas encaminadas a regular la calidad y el proceso de elaboración del vino. Pero es en el s. XIX cuando la producción vitícola experimenta un fuerte crecimiento, ligado a la expansión de la plaga de la filoxera en la vecina Francia. Esta plaga, llegada desde la costa E de EEUU a comienzos de 1860, ocasionó la muerte de numerosas cepas de vid y la casi total ruina del cultivo de la vid en Francia. Dadas las similitudes entre los viñedos de Burdeos y de Rioja, los bodegueros franceses recurrieron a la compra de vino a granel para continuar con su producción (Piqueras, 2005). Más adelante, los propios bodegueros franceses se asentaron en La Rioja, particularmente en la zona de Haro, implantando sus métodos de elaboración y fundando algunas bodegas que se han convertido con el tiempo en famosas, como Savignon-Freres et Cie (Bodegas Bilbaínas), López de Heredia o Carlos Serres. Este desarrollo del cultivo de la vid repercutió también en aspectos económicos, sociales y urbanos de ese núcleo urbano, como es la construcción del ferrocarril, la

instalación de alumbrado eléctrico público y, a partir de 1892, la creación de la Estación Enológica, iniciativa del Ministerio de Fomento para desarrollar la investigación y enseñanza de la viticultura, siguiendo la Real Orden de 25 de enero de 1892, de la Dirección General de Agricultura, Industria y Comercio. En su momento, formó parte de un plan global de las autoridades nacionales para mejorar la calidad de los vinos españoles. En este plan se contemplaba la creación de una estación central en Madrid, y otras más pequeñas, en comarcas con fuerte implantación de la viticultura, por ejemplo, Haro, Villafranca del Penedés, Requena o Reus.

A comienzos del siglo XX la filoxera también afectó a La Rioja, pero sus efectos no fueron iguales en toda la región. La crisis fue muy importante en algunos pueblos de La Rioja Alta y Alavesa, en los cuales la viticultura era la base de su economía. En el resto de la provincia supuso, por el contrario, una oportunidad de crecimiento para otras agroindustrias, como las conservas y la remolacha azucarera. De hecho, en 1900 la industria vitivinícola riojana contaba con un número de hectáreas mucho más elevado que en la actualidad. La vulnerabilidad de este monocultivo, puesta de manifiesto por la filoxera, provocó la necesidad de reorientar la economía riojana, que por aquel entonces dependía del monopolio vitícola. Además, en Francia ya habían superado la crisis y no necesitaban los vinos riojanos. En definitiva, la filoxera supuso un reto que ayudó a impulsar la economía riojana, diversificando su sector agroindustrial y cambiando muchas de las características del sector vitícola. La solución a la filoxera en la vid, al igual que ocurrió en Francia, fue el injerto de cepas procedentes de América, que eran inmunes a la plaga.

Un hito fundamental fue la creación de un organismo encargado de la regulación y control del sector vitícola, el Consejo Regulador, en 1926. Sus objetivos eran delimitar la zona de producción del vino de Rioja, controlar la expedición de la precinta de garantía (etiquetado) y establecer las medidas legales para protegerlo. En 1970 se aprobó el Reglamento de la Denominación de Origen y del Consejo Regulador, siendo ésta otorgada en 1991.

3. FUENTES Y METODOLOGÍA

3.1. Caracterización del área de estudio

La zona de trabajo engloba la Denominación de Origen Calificada Rioja (DOCa Rioja). Se trata de la Primera Denominación de Origen Calificada de España; en su mayor parte se extiende por la Comunidad Autónoma de La Rioja, aunque también incluye municipios de Navarra y Álava (Figura 2), dividida a su vez en 3 comarcas: Rioja Alta, Rioja Baja (ahora denominada Rioja Oriental) y Rioja Alavesa. Actualmente ocupa unos 640 km², repartidos entre 139 municipios, siendo la densidad vitícola mucho mayor en la Rioja Alavesa y Rioja Alta.



Figura 3.1. Territorio productor del vino de Rioja. Fuente: Wikipedia

Este ámbito territorial no supera los 600 metros de altitud, ocupando el fondo del valle del Ebro, cuenca sedimentaria rellena de materiales de edad cenozoica. Éstos se han dispuesto de manera horizontal, por lo que predomina un relieve acinal, cuyo grado de desmantelamiento es desigual, a causa de la diferente potencia y resistencia de los estratos guía, normalmente calizas o conglomerados. Las pendientes son generalmente suaves en el fondo de la depresión, pero aumentan, sobre todo en el margen meridional, en el enlace con el piedemonte del Sistema Ibérico; éste último, que supera los 2000 metros, está dividido en diferentes macizos (Demanda, Urbión etc.). Por el norte, el

límite está constituido por relieves plegados de menor altitud y energía (Sierras de Sierra de Toloño-Cantabria-Joar).

Debido a su ubicación geográfica entre el Cantábrico y el Mediterráneo y su disposición interior, rodeada de montañas, La Rioja posee un clima que combina influencias atlánticas y mediterráneas. Las primeras llegan debilitadas, en forma de sistemas frontales y vientos del NW (el cierzo), provocando precipitaciones en las montañas circundantes, cielos nublados en las zonas llanas y temperaturas frescas, si bien esa influencia se debilita progresivamente hacia el SE (Figura 3.2). En relación a las influencias mediterráneas, los vientos del SE (bochorno) suelen aportar temperaturas cálidas y cielos poco nublados, aunque no son infrecuentes las precipitaciones en forma de tormentas. Además, su localización interior aporta ciertos matices continentales, que se traducen en una elevada amplitud térmica anual y diaria. Este conjunto de influencias determina que el clima de La Rioja alterne veranos secos y cálidos, junto con inviernos fríos y húmedos. La altitud modifica además la distribución espacial de las temperaturas y de las precipitaciones, observándose un gradiente térmico (aproximadamente $0,5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) y otro pluviométrico acentuado (aproximadamente $90\text{ mm}/100\text{ m}$), sobre todo a lo largo de la vertiente N del Sistema Ibérico.

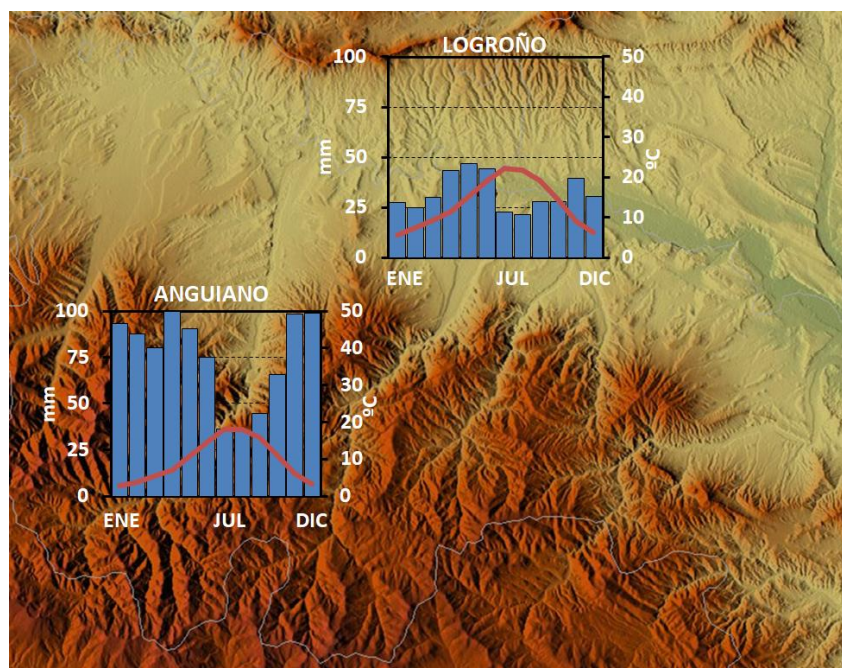


Figura 3.2. Climogramas de Anguiano y Logroño. Fuente: elaboración propia a partir de información proporcionada por AeMet.

Debido a la configuración topográfica de la región y a los gradientes climáticos antes citados, la región se comporta como un ecotono entre el dominio eurosiberiano, que está presente en las zonas altas del Sistema Ibérico (*Fagus sylvatica*, *Pinus sylvestris*, *Quercus pyrenaica*), y el dominio mediterráneo, ubicado por debajo de los 600 m de altitud, caracterizado por una vegetación esclerófila (*Quercus rotundifolia*, *Juniperus*, etc.). Dado que esta última región coincide con las zonas más transformadas por el ser humano, apenas quedan retazos de su antigua extensión, ocupando la vid cotas entre los 400 y 600 metros de altitud, sobre todo dónde los suelos calizos ofrecen condiciones topo-climáticas favorables a su cultivo (Arnáez et al., 2006).

3.2. Fuentes de información

Para la realización de este estudio se han utilizado fuentes de información diversas, obtenidas de diferentes organismos oficiales. Esencialmente, estas fuentes de información son de dos tipos, hidroclimáticas y vitícolas.

Respecto a las primeras, la fuente básica han sido los valores de precipitación y temperatura obtenidos de la Agencia Estatal de Meteorología (AeMet), correspondientes a un conjunto de estaciones termo-pluviométricas ubicadas en las provincias de La Rioja y Navarra, y seleccionadas en función de la longitud de las series originales. La información más representativa de cada estación se ha sintetizado en la Tabla 3.1.

CÓDIGO	NOMBRE	ALTITUD	PROVINCIA	LONGITUD	LATITUD	INICIO TEM	FIN TEM	INICIO PP	FIN PP
9121	HARO	465	LA RIOJA	-2,512	42,343	1936	2015	1930	2015
91311	MANSILLA EMBALSE	900	LA RIOJA	-2,534	42,095	1967	2018	1928	2018
9136	ANGUANO VALVANERA	1020	LA RIOJA	-2,522	42,135	1949	2016	1927	2016
9145	CENICERO BODEGA	429	LA RIOJA	-2,382	42,286	1966	2018	2003	2018
9145A	CENICERO INDUSTRIAL	430	LA RIOJA	-2,384	42,285	1949	2018	1949	2018
9170	LOGROÑO-AGONCILLO	353	LA RIOJA	-2,195	42,271	1951	2018	1951	2018
9174	SARTAGUDA	310	NAVARRA	-2,032	42,223	1920	2018	1920	2018
91940	RINCON DE SOTO	285	LA RIOJA	-1,511	42,141	1970	2018	1970	2018
9246	CARCASTILLO (LA OLIVA)	340	NAVARRA	-1,280	42,222	1937	2018	1929	2018
9252	OLITE	390	NAVARRA	-1,392	42,292	1938	2018	1931	2018
9255	CAPARROSO	304	NAVARRA	-1,391	42,202	1953	2018	1929	2018
9283	CADREITA	268	NAVARRA	-1,424	42,123	1920	2018	1920	2018
92831	ALFARO (AYUNTAMIENTO)	285	LA RIOJA	-1,472	42,110	1993	2018	1993	2018
9293	ALFARO 'ESCUELAS'	300	LA RIOJA	-1,451	42,105	1979	2018	1963	2018
9293A	ALFARO AZUCARERA	300	LA RIOJA	-1,451	42,111	1940	1973	1930	1973
9301	MONTEAGUDO	410	NAVARRA	-1,413	41,573	1929	2018	1929	2018

Tabla 3.1. Información correspondiente a las estaciones termo-pluviométricas solicitadas a AeMet.

De forma adicional, la base de datos European Climate Assessment and Dataset (<http://www.ecad.eu>), proporcionó datos diarios de temperatura, humedad, viento, insolación, nubosidad y ETP del observatorio de Logroño-Agoncillo. Igualmente, se han utilizado datos de caudal medio diario de las estaciones de aforo 9050 Río Tirón en Cuzcurrita y 9044 Río Cidacos en Yanguas, disponibles en la página web del Anuario de Aforos del Centro de Estudios y Experiencias (CEDEX, <http://hercules.cedex.es>).

En lo que respecta a la información estadística de carácter vitícola, se ha utilizado tanto información sobre la producción como relativa a la calidad del vino, su composición química y la fenología de la vid. Para obtener los dos primeros tipos de información se ha recurrido a la página web del Consejo Regulador de la DOCa Rioja. Éste último también proporcionó series temporales, entre el año 1993 y 2018, con los resultados de los controles realizados en diferentes parcelas acerca de las características químicas de la uva:

- Fecha de los controles e identificación de la muestra
- Zona geográfica
- Cota altitudinal
- Variedad de uva
- Año de plantación de la vid
- Grado alcohólico probable
- Acidez
- pH
- Otros parámetros de interés vitícola (ácido málico, potasio, índice de polifenoles totales, antocianos e intensidad del colorante).

Finalmente, también se obtuvieron series temporales acerca de la fecha media de floración, fecha de inicio del envero e inicio de la vendimia, desde 1992 hasta la actualidad, procedentes de la Empresa Marqués de Riscal. Finalmente, se ha recogido diversa información de carácter oral proporcionada por profesionales que han aportado información de carácter cualitativo acerca de la evolución reciente del cultivo de la vid y los problemas relacionados con el clima y las plagas.

3.3. Metodología

La primera fase del trabajo consistió en un control de calidad básico de los diferentes datos, con el objeto de identificar y corregir errores, lagunas (ausencia de datos) y crear nuevas series temporales resultado, por ejemplo, de la unión de series meteorológicas consecutivas, correspondientes a varias estaciones ubicadas en la misma localidad. Por ejemplo, la estación 9293a ALFARO AZUCARERA y la estación 9293 ALFARO 'ESCUELAS' han sido convertidas en una única estación, que pasó a denominarse 9293 ALFARO 'ESCUELAS' por ser la más reciente.

Posteriormente, y dado que este trabajo se fundamenta en el análisis estadístico de series climáticas con resolución anual y estacional, las series de datos originales, recibidas con resolución diaria, se transformaron en series anuales y estacionales (suma en el caso de la precipitación, promedio en el caso de la temperatura), siendo el invierno el agregado de los meses de diciembre, enero y febrero, la primavera correspondiendo a marzo, abril y mayo, el verano a junio, julio y agosto y el otoño a septiembre, octubre y noviembre.

Para que los resultados no pudieran estar falseados por la ausencia de un número de datos relevante, se decidió prescindir de todos los años/estaciones astronómicas que tuviesen un número de datos perdidos superior al 10%, y también de todas las estaciones meteorológicas que no dispusieron, en conjunto, de un 90 % de los datos (Tabla 3.2).

CDG	ESTACIÓN	% DATOS PP	% DATOS TEM.
9069	MIRANDA DE EBRO	76,66	76,84
9105	PRADOLUENGO	81,43	82,24
9121	HARO	92,03	92,89
9131I	MANSILLA EMBALSE	73,7	75,24
9136	ANGUIANO VALVANERA	94,85	92,28
9145	CENICERO BODEGA	77,07	76,09
9145A	CENICERO INDUSTRIAL	94,67	99,64
9170	LOGROÑO_AGONCILLO	100	99,97
9174	SARTAGUDA	88,38	92,95
9194O	RINCON DE SOTO	67,56	70,21
9246	CARCASTILLO (LA OLIVA)	88,69	99,64
9252	OLITE	88,2	96,51
9255	CAPARROSO	90,24	93,86
9283	CADREITA	77,47	85,99
9293	ALFARO 'ESCUELAS'	73,25	87,54
9301	MONTEAGUDO	90,54	97,97

Tabla 3.2. Porcentaje de datos meteorológicos de las estaciones. Fuente: elaboración propia a partir de datos proporcionados por AeMet.

Posteriormente, para verificar la calidad de esos datos iniciales y la ausencia de inhomogeneidades por cambios de emplazamiento, instrumental etc., se procedió al cálculo del coeficiente de correlación de Pearson entre todas las estaciones meteorológicas y variables. Aquellas estaciones cuya correlación con todas las demás superaba el valor de 0.80 fueron consideradas series de calidad, y por tanto, se convirtieron en la fuente fundamental de análisis (Tablas 3.3 y 3.4). Las estaciones seleccionadas fueron Cenicero, Agoncillo y Carcastillo, que poseen datos casi completos entre 1951 y 2018, y presentan un alto grado de homogeneidad interna.

ESTACIONES	9121	9136	9145	9170	9174	9246	9252	9255	9283	9293	9301
9121	1,00	0,61	0,54	0,70	0,64	0,59	0,41	0,41	0,58	0,38	0,71
9136		1,00	0,69	0,80	0,64	0,70	0,75	0,65	0,62	0,41	0,77
9145			1,00	0,67	0,68	0,56	0,53	0,53	0,55	0,47	0,62
9170				1,00	0,88	0,86	0,73	0,62	0,63	0,62	0,71
9174					1,00	0,83	0,58	0,49	0,54	0,63	0,51
9246						1,00	0,60	0,57	0,53	0,65	0,59
9252							1,00	0,71	0,47	0,48	0,64
9255								1,00	0,64	0,55	0,59
9283									1,00	0,57	0,59
9293										1,00	0,30
9301											1,00

Tabla 3.3. Correlación de la variable temperatura entre los diferentes observatorios meteorológicos. Fuente: elaboración propia a partir de datos proporcionados por AeMet.

ESTACIONES	9121	9136	9145A	9170	9174	9246	9252	9255	9283	9293	9301
9121	1,00	0,44	0,57	0,70	0,33	0,50	0,48	0,52	0,46	0,30	0,38
9136		1,00	0,27	0,61	0,02	0,23	0,28	0,24	0,15	0,33	0,34
9145A			1,00	0,72	0,69	0,72	0,70	0,63	0,64	0,32	0,54
9170				1,00	0,59	0,70	0,60	0,72	0,67	0,44	0,67
9174					1,00	0,75	0,84	0,71	0,78	0,39	0,65
9246						1,00	0,81	0,84	0,79	0,56	0,68
9252							1,00	0,74	0,81	0,46	0,63
9255								1,00	0,90	0,56	0,65
9283									1,00	0,67	0,77
9293										1,00	0,59
9301											1,00

Tabla 3.4. Correlación de la variable precipitación entre los diferentes observatorios meteorológicos. Fuente: elaboración propia a partir de datos proporcionados por AeMet.

Dada la estrecha relación entre esas tres estaciones, resultado de su proximidad geográfica, los valores originales de las series fueron transformados en anomalías estandarizadas y combinadas en una única serie regional, para su posterior análisis

estadístico. El cálculo de las anomalías estandarizadas se realiza mediante la siguiente fórmula (Raso et al, 1987):

$$Z = \frac{x - \bar{x}}{\mu}$$

Siendo x el valor correspondiente a un momento en el tiempo, \bar{x} el promedio de la serie y μ la desviación típica de esa misma serie entre 1950 y 2018.

El siguiente paso consistió en la elaboración de índices bioclimáticos apropiados para el análisis de la relación entre clima y viticultura. En este caso se procedió al cálculo de los índices GDD, HI y BEDD. Los días de grado de crecimiento (GDD), también denominado índice de Winkler, es un índice de acumulación de calor basado en la hipótesis de que, en ausencia de otras condiciones de estrés (sequías o enfermedades no estacionales), el crecimiento de las plantas está estrechamente ligado a la temperatura ambiente. Los grados de crecimiento se definen como el número de grados de temperatura por encima de un determinado umbral o temperatura base, que en el caso del viñedo son 10°C; por debajo de esta última el crecimiento de la planta es cero. Los grados-día se calculan día a día como diferencia entre la temperatura media de ese día menos la temperatura base; posteriormente, estos valores se acumulan a medida que avanza la temporada, que se establece entre el día 1 de abril y el 31 de octubre. Su fórmula de cálculo es la siguiente:

$$HI = \sum_{d=1}^n \max \left[\frac{(T_{max} + T_{max})}{2} - 10 \right]$$

El índice HI (índice de Huglin) es similar al GDD, pero proporciona más peso a las temperaturas diurnas y está ponderado por un coeficiente de corrección (K) que tiene en cuenta la duración media de las horas de luz según latitudes (Huglin, 1978). Este índice se calcula sólo para el periodo 1 de abril al 30 de septiembre, ya que el autor estableció que la acumulación de calor en octubre no tenía ya relevancia para el cultivo de la vid. Su fórmula es la siguiente:

$$HI = \sum_{d=1}^n \max \left[\frac{(T_{media} - 10 + T_{max} - 10)}{2} \right] K$$

Siendo T_{mean} la temperatura media diaria, T_{max} la temperatura máxima diaria y 10°C la temperatura base. El coeficiente K a 40° es 1,02 y a 50° 1,06.

El índice BEDD (Gladstones, 1992) es otro índice térmico que también calcula la acumulación de calor, pero asumiendo que el crecimiento de la vid no es lineal, lo que hace su cálculo más complejo. Este índice ajusta el crecimiento de la vid truncando su actividad entre unos valores prefijados; por ejemplo asigna un valor de 9°C a los días cuyas temperaturas medias se sitúan entre los 19°C y los 26°C, que son las temperaturas óptimas para el desarrollo. Si la temperatura media se sitúa entre los 10°C (cero vegetativo) y los 19°C, o las temperaturas son superiores a los 26°C, asigna los días calculados según la fórmula anterior, y proporciona un valor de 0 si la temperatura es inferior a 10°C o superior a 40°C. También incluye un ajuste sobre la amplitud de la temperatura diaria (temperatura máxima menos temperatura mínima; *DTRadj*), de tal manera que si la diferencia entre ambas es mayor que 13°C se multiplica positivamente (+0,25) y si es menor se multiplica negativamente (-0,25). Finalmente, incluye un ajuste latitudinal para incluir el aumento de la luz del día en latitudes altas, durante el periodo de crecimiento, aunque ligeramente diferente al propuesto por Huglin (pe. a 40°N equivale a 1,00).

$$BEDD = \sum_{d=1}^n \min \left[\max \left(\frac{(T_{max} + T_{min})}{2} - 10 \right) K + \right] DTRadj, 9$$

Donde

$$DTRadj = \begin{cases} +0,25[DTR - 13], [DTR] > 13 \\ 0,0, & 10 < [DTR] < 13 \\ -0,25 [DTR - 10], [DTR] < 10 \end{cases}$$

La vid no sólo es sensible a los valores acumulados de temperatura; su crecimiento están sometido al efecto de fenómenos extremos como las olas de calor o las heladas, particularmente las primaverales. Para verificar el papel de estos fenómenos en la evolución climática reciente de La Rioja, se obtuvieron el número de días de ola de calor y de helada en la estación de Logroño-Agoncillo. Los días de ola de calor corresponden a todos aquellos días en los que la temperatura máxima supera el percentil 95 de la temperatura máxima diariacorrespondiente a los meses de junio, julio y agosto (AeMet, 2018). El percentil 95 se calcula ordenando de menor a mayor las temperaturas de todos los días de junio, julio y agosto en el periodo de años analizado, correspondiendo al 5% de los días más cálidos. Una vez obtenidos esos valores de

temperatura, la temperatura umbral es la menor de ese porcentaje de días. Los días de helada son aquellos días en los que se registró una temperatura mínima inferior a 0°C.

Para el análisis de la evolución hidroclimática de la región, los datos diarios de caudal (m³/s) fueron agregados también en valores anuales, correspondiendo éstos últimos a años hidrológicos (desde octubre de un año a septiembre del año siguiente) y transformados posteriormente en anomalías estandarizadas.

La información vitícola también fue sometida también a un control de calidad previo. Dado que las fechas de los controles realizados por el Consejo Regulador no se realizan en las mismas fechas todos los años, se eligió el último control del mes de septiembre, con el fin de que se aproximara al comienzo de la vendimia. A su vez, las fechas de ésta última fueron transformadas en fechas julianas, es decir, en el número de días transcurridos desde el 1 de enero de cada año.

El siguiente paso consistió en la evaluación y análisis de las tendencias climáticas (tanto variables climáticas –temperatura y precipitación– como índices bioclimáticos). En una primera fase, con objeto de identificar y precisar la duración de fases temporales en la evolución climática regional, se utilizaron las medias móviles con un paso de 7 términos. Este procedimiento permite suavizar las fluctuaciones interanuales en la evolución climática, resaltando las tendencias o ciclos a largo plazo.

$$\bar{p}_{sm} = \frac{p_m + p_{m-1} + \dots + p_{m-(n-1)}}{n}$$

Siendo p_m el valor de una variable en un momento concreto y n la longitud del paso, en este caso, 7 términos.

Para evaluar la significación estadística de las tendencias temporales a largo plazo se ha calculado el coeficiente de correlación de Pearson, mediante el cual se asocian dos variables aleatorias, una en forma de serie temporal y otra en forma de variable climática. Los valores obtenidos oscilan entre -1 y +1, que nos indican asociaciones negativas o positivas respectivamente; la comprobación de la significación estadística de ese coeficiente de correlación se ha realizado mediante el sencillo test propuesto por Raso et al (1987), al nivel de significación del 0,05.

$$|r| * \sqrt{n} > 1,96$$

Siendo n el número de casos y $|r|$ el valor del coeficiente de correlación en términos absolutos (independiente del signo positivo o negativo). El test se ha aplicado a las series estandarizadas de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima, al igual que a las series correspondientes a los índices bioclimáticos seleccionados y a series de variables vitícolas.

Con el fin de cuantificar la magnitud de los cambios temporales en aquellas variables y periodos estacionales que manifestaron una tendencia significativa, se calculó la recta de regresión por el método de mínimos cuadrados, tomando como variable independiente el tiempo (x) y como variable dependiente la variable climática bajo análisis (y), que toma la siguiente forma:

$$y = ax + b$$

De los términos a y b de la ecuación de la recta de regresión, a , conocido como pendiente, refleja el cambio en la variable dependiente (clima) por cada cambio en la variable independiente (tiempo), es decir, cuanto aumenta o disminuye y por cada aumento o disminución de una unidad de x .

Posteriormente, se analizó la relación entre la evolución climática (series de temperatura, precipitación e índices climáticos) con las series vitícolas, mediante el cálculo del coeficiente de correlación de Spearman, preferido al de Pearson, ya que algunas de esos parámetros vitícolas no se ajustaban a los requisitos del coeficiente de Pearson. El coeficiente de correlación de Spearman utiliza los rangos (posición ordenada dentro de una serie de datos) de dos variables, aplicando la siguiente fórmula:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n - (n^2 - 1)}$$

4. RESULTADOS

4.1. El vino de Rioja en la actualidad

Actualmente, la Denominación de Origen Calificada Rioja agrupa más de 600 bodegas, 15.000 viticultores y el mayor parque de barricas del mundo (Barco y Navarro, 2004). Un tercio de la producción se exporta, lo que supone casi un 30% del valor total de las exportaciones regionales (aproximadamente 300 millones de euros cada año), gracias a lo cual La Rioja tiene un saldo neto positivo en su comercio exterior (Larreina, 2005). La superficie vitícola en 2018 es de 65.326 hectáreas, concentradas en dos ámbitos

fundamentales, uno al N, entre Haro y Elciego, y otro al sur, entre Calahorra y Alfaro (Figura 4.1). Los terrenos más habituales en los que se plantala vid son los glacis y las terrazas altas de los ríos (las terrazas bajas se dedican a cultivos de regadío), con suelos profundos, tanto calizos como arenosos (Pascual y Cabrerizo, 1995; Arnáez et al, 2006).

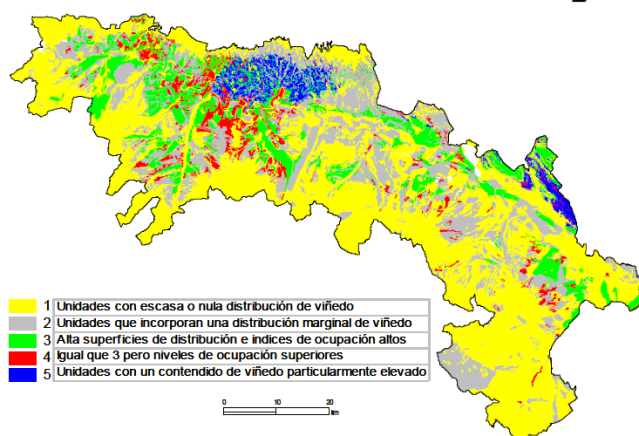


Figura 4.1. Distribución de la superficie total de viñedo según clases de intensidad.

Fuente: Fernández Seoane (2006).

Atendiendo a sus condicionantes climáticos, los vinos de Rioja se elaboran bajo unas condiciones relativamente frescas en verano, un invierno templado y ausencia de déficit hídrico, lejos de los valores negativos del sur de España (Jerez, Amontillado) y de los excedentes del Ribeiro, Oporto o Burdeos (Tonietto y Carbonneau, 2004).

REGIÓN	HI	CI (°C)	DI (mm)
Burdeos	1995	12.9	147
Anadia	2130	13.1	32
Cádiz	2753	16.8	-142
Ciudad Real	2522	13.3	-86
Málaga	2586	18.4	-126
Murcia	2876	16.9	-91
Orense	2247	12.4	108
La Rioja	2107	12.9	1
Tarragona	2272	16.6	-67
Lanzarote	2632	21.0	-178
Valladolid	2020	10.9	-20

Tabla 4.1. Características bioclimáticas de algunas zonas vitícolas de la Península Ibérica y Francia. Fuente: Elaboración propia a partir de la información proporcionada por Geoviticulture MCC System.

La superficie dedicada a la producción vinícola, al igual que la propia producción, ha aumentado progresivamente desde finales de los años 80: en el caso de la uva se ha pasado de 240.000 toneladas en 1985 a 350.000 en 2017 (Figura 4.1). La mayor parte de esa tendencia creciente se produjo a lo largo de los años 80 y 90 (Barco y Navarro, 2004), habiéndose estabilizado con posterioridad. Actualmente, la producción media anual de vino de Rioja es de 250 millones de litros (85% vino tinto y 15% vino blanco y rosado). Las uvas tintas representan el 93,68% y las blancas el 6,32%. En cuanto a variedades, las uvas tintas se distribuyen de la siguiente manera: Tempranillo, 85,33% (considerada autóctona por encontrarse en los viñedos más antiguos; Larraina et al., 1984); Garnacha, 9,91%; Mazuelo, 2,65%; Graciano, 0,17%; y otras, 0,37%. El porcentaje entre las blancas queda determinado así: Viura, 94,91%; Malvasía, 1,91%; Garnacha blanca, 0,36%; y otras, 2,81%.

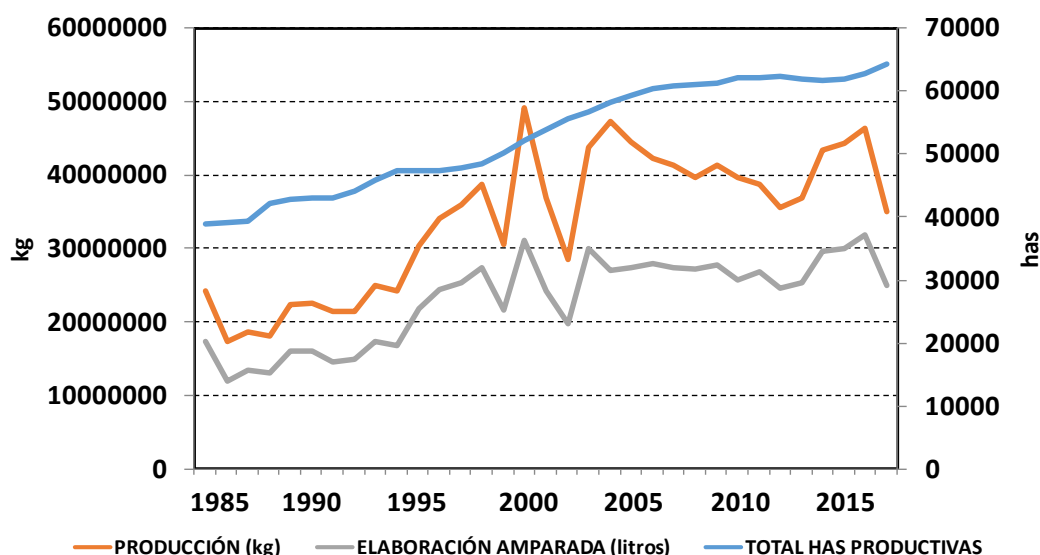


Figura 4.2. Evolución de la superficie de viñedo y producción de vino de Rioja (1985-2017). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos proporcionados por el Consejo Regulador de la DOCa Rioja.

El viñedo es un elemento identificativo de la sociedad riojana, siendo unas 20.000 personas propietarias de tierras destinadas a la vid. Además, aparte de los propietarios, la industria del vino está conformada por una gran cantidad de organismos. De todos los establecimientos empresariales de La Rioja, alrededor de unos 1.200 pertenecen al *Cluster del Vino de Rioja*, lo que supone un 4,5% del total de establecimientos de la región (Larreina, 2011).

La elevada rentabilidad actual del viñedo ha dado origen a cambios significativos en el paisaje de La Rioja, mediante la ocupación progresiva de espacios más llanos y fértiles, el incremento del regadío, la expansión del viñedo en espaldera, la disminución varietal y la concentración espacial en parcelas (Lasanta et al, 2006; Galilea et al, 2015), aspectos que han aumentado la productividad pero contestados por algunos grupos que alertan de la pérdida de un paisaje cultural, herencia de una viticultura con una larga tradición. Pero al mismo tiempo, estos cambios han determinado la implantación de Programas de Apoyo Nacionales de la OCM (Organización Común de Mercados Agrícolas) en 1999 y 2008, centrados en la reconversión y reestructuración del viñedo. El paisaje del viñedo tradicional estaba formado por pequeñas parcelas que conformaban un mosaico de cultivos mediterráneos, sustituido en la actualidad por un paisaje homogéneo, simplificado y monótono. Por ejemplo, la expansión del viñedo en espaldera, por el que la vid es aguantada y conducida mediante un soporte de alambres y de conducciones de riego por goteo, permite la mecanización de las tareas agrícolas, reduciendo costes de producción.



Figura 4.3. Disposición del viñedo en espaldera. Fuente: VitiViniCultura (2019).

Además, la espaldera incrementa la densidad de las cepas y facilita los tratamientos sanitarios (Ruiz Pulpón, 2013). Sin embargo, el incremento de la densidad de las cepas ocasiona desventajas, como un mayor estrés de la vid, menor longevidad, pérdida de calidad e impacto visual ocasionado por la estructura (que se observa todo el año, a excepción de los meses de junio a octubre). Además, cabe destacar que esta técnica

requiere más agua que el viñedo tradicional en vaso, por lo que los cultivos de la vid pueden ser más sensibles a los periodos de sequía (figura 4.4), aunque la DOCa no prevé graves problemas de este tipo, ya hoy en día la región posee reservas suficientes para cumplir con la demanda hídrica.

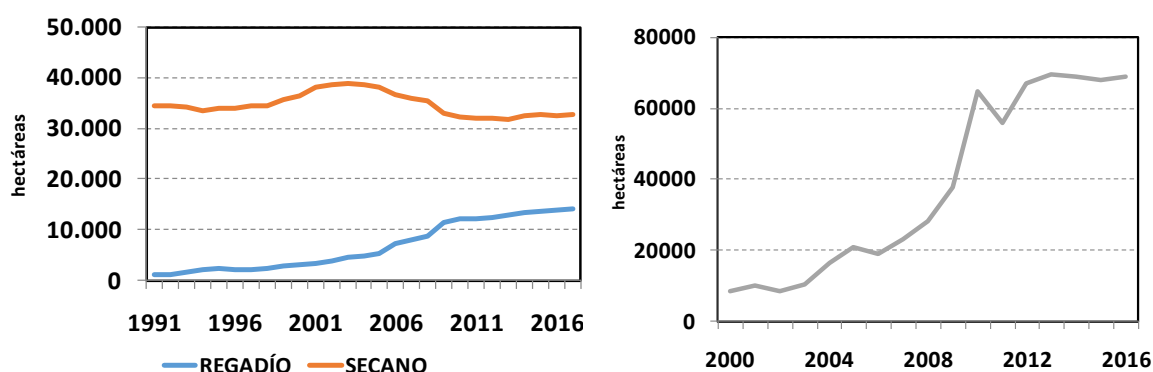


Figura4.4. Evolución del riego de la vid en La Rioja y del riego por goteo. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del Instituto de Estadística de La Rioja.

4.2. Evolución climática regional

Una vez mostradas tanto la situación actual del viñedo en La Rioja, este apartado analiza la evolución climática reciente de la región. En primer lugar, se consideran los valores estacionales y anuales de temperatura máxima y mínima, y precipitación acumulada, para continuar con la evolución de extremos térmicos tales como olas de calor y heladas tardías (primaverales). El capítulo concluye con el análisis de los caudales de dos ríos de los que se extrae el agua utilizada para el regadío, con el fin de relacionar la evolución climática regional con la hidrológica.

4.2.1. Variables termo-pluviométricas

La tabla 4.2 muestra los valores de correlación entre las series de temperatura, máxima y mínima, y precipitación, tanto anual como estacional, y el tiempo, durante el periodo de análisis (1950-2018), así como su significación estadística. Obsérvese que, mientras la precipitación no manifiesta tendencia alguna, la temperatura experimenta una clara tendencia positiva, que es más significativa en el caso de las temperaturas mínimas

(nocturnas), particularmente durante la primavera y el verano. El calentamiento que reflejan estos resultados no es tan acusado durante el otoño y el invierno y por el día.

ANUAL	PP	T.MÁX	T.MÍN
	-0,04	0,47	0,57
	1,19	3,94	4,76
INVIERNO	PP	T.MÁX	T.MÍN
	-0,07	0,32	0,23
	1,07	2,70	2,36
PRIMAVERA	PP	T.MÁX	T.MÍN
	0,07	0,34	0,49
	0,97	2,85	4,09
VERANO	PP	T.MÁX	T.MÍN
	-0,01	0,35	0,63
	0,63	2,90	5,26
OTOÑO	PP	T.MÁX	T.MÍN
	-0,11	0,23	0,36
	0,87	1,92	3,00

Tabla 4.2. Coeficiente de correlación de Pearson y significación estadística de la evolución temporal de diferentes variables climáticas. Valores superiores a 1,96 son considerados significativos con una probabilidad del 95 %. Elaboración propia a partir de la información obtenida de AeMet.

La figura 4.5 muestra la evolución regional de la precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima, desglosada en diferentes momentos del año. Cada gráfico incluye la línea de tendencia, resultado de un procedimiento de regresión, la ecuación resultante y el valor de R^2 , que indica la cantidad de información original que explica el modelo de regresión. Además, los datos originales incluyen la línea suavizada con una media móvil de 7 términos, que permite identificar fases de calentamiento o enfriamiento superpuestas a las tendencias generales.

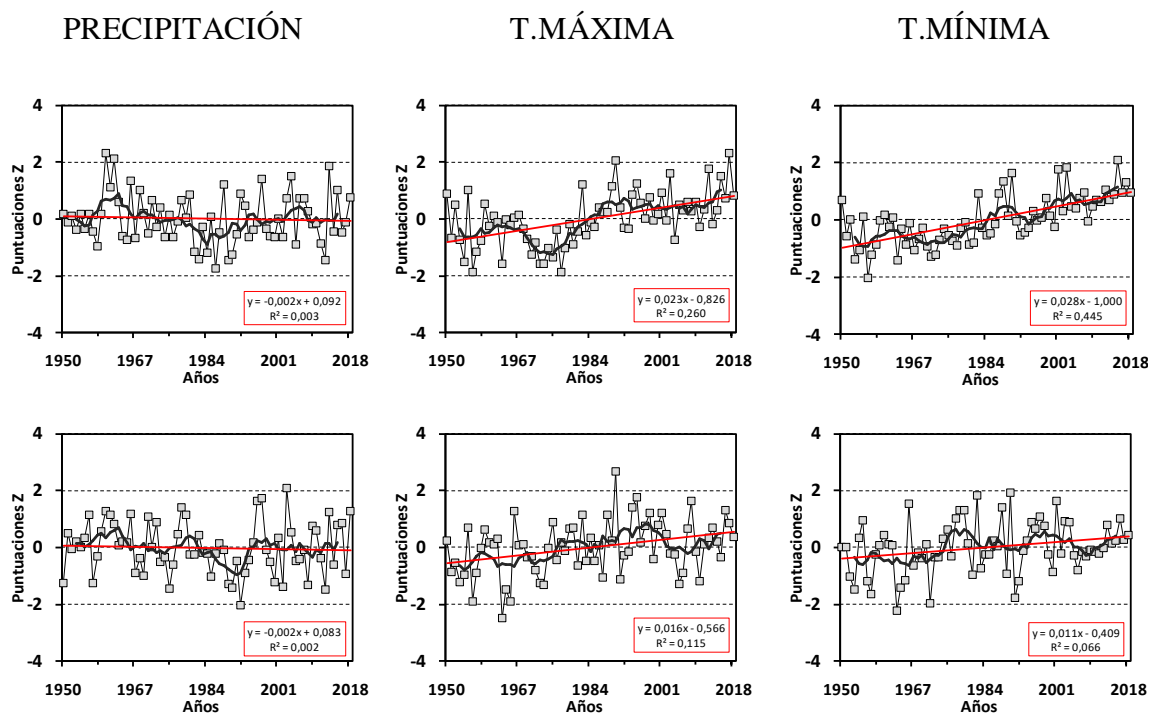
Si analizamos cada variable por separado, las líneas de tendencia correspondientes a la precipitación apenas muestran inclinación, como corresponde a la ausencia de significación estadística entre evolución temporal y precipitación. La carencia de tendencia a largo plazo no ha excluido la alternancia de fases húmedas (por ejemplo los años 60 y los 80), en las que predominan los años con valores por encima de la curva de la media móvil, y fases más secas (los 70), por debajo. Por el contrario, las líneas de tendencia correspondientes a las temperaturas muestran, en general, tendencias

claramente positivas (calentamiento), aunque con diferente intensidad, como muestra la tabla 4.3. Según esta, la temperatura mínima (pendiente anual 0,028 unidades/año) aumenta más rápidamente que la temperatura máxima (pendiente anual 0,023 unidades/año), sobre todo durante el verano (0,031 unidades/año) y la primavera (0,024 unidades/año). Inmersos esta tendencia al aumento de las temperaturas se ubican episodios cálidos y fríos de diferente duración y magnitud. Por ejemplo, es evidente una fase de enfriamiento bastante intensa, sobre todo en invierno y primavera, durante las décadas de los años 60 y 70, al igual que la fase muy cálida de los años 90 y la de la década de los años 50.

RECTA DE REGRESIÓN	PP	T.MÁX	T.MÍN
AÑO	-0,002	0,023	0,028
INVIERNO	-0,002	0,016	0,011
PRIMAVERA	-0,004	0,017	0,024
VERANO	0	0,017	0,031
OTOÑO	-0,003	0,011	0,017

Tabla 4.3. Pendiente de la recta de regresión según variables y estaciones astronómicas.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por AeMet.



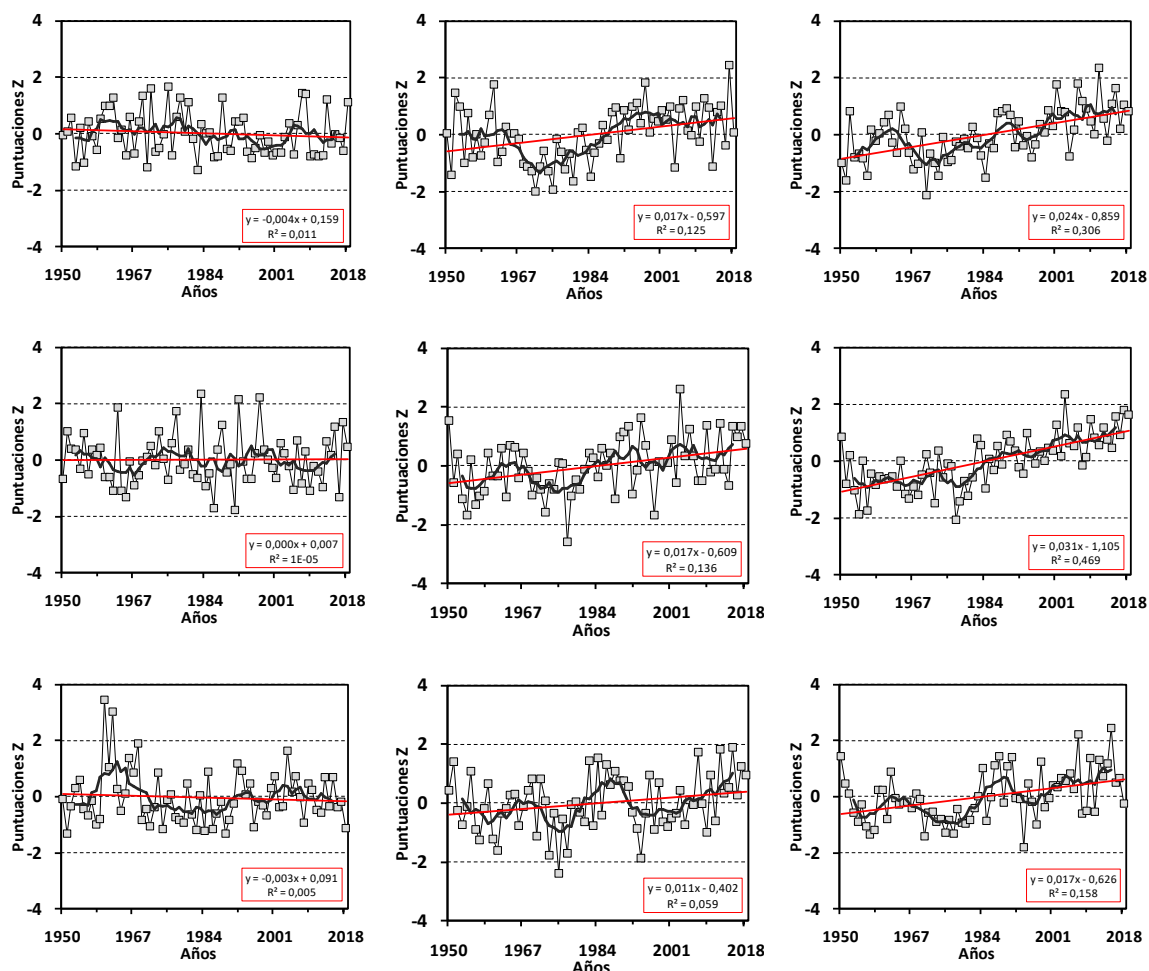


Figura 4.5. Evolución de las principales variables climáticas en La Rioja. Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por AeMet (columnas: variables analizadas -Temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación-; filas: estaciones astronómicas -año completo, invierno, primavera, verano y otoño-).

4.2.2. Índices bioclimáticos

Los valores del coeficiente de correlación entre los índices vitícolas y el tiempo aparecen reflejados en la tabla 4.3. Los resultados muestran una correlación positiva en las tres variables escogidas, y una significación estadística elevada, que supera el 1,97.

MEDIA REGIONAL	GDD	BDD	HI
PEARSON	0,59	0,46	0,59
RELACIÓN ESTADÍSTICA	4,94	3,83	4,88

Tabla 4.3. Coeficiente de correlación de Pearson y significación estadística de la evolución temporal de diferentes índices climáticos para la viticultura. Valores superiores a 1,96 son considerados significativos con una probabilidad del 95 %.

Elaboración propia a partir de la información obtenida de AeMet.

Con el fin de complementar la información anterior, se muestran tres gráficos en los que se representa la tendencia seguida por los índices GDD, BDD y HI durante el periodo de estudio (Figura 4.6). El primero muestra claramente una tendencia ascendente, que coincide con la evolución observada en las temperaturas estivales. Como es lógico, esta evolución también ha experimentado fases o ciclos en los que los valores del índice se situaron por encima (fase cálida) o por debajo (fases frías) de la recta de la tendencia. Por ejemplo, en una de las fases frías cabe destacar el año 1972, con el valor más extremo por debajo de la tendencia; y en la última fase cálida, destaca el año 2017, que muestra los valores más altos que se han alcanzado en los últimos 50 años. Se puede comprobar que la recta de regresión sigue el mismo comportamiento que en el índice GDD; sin embargo, el índice BDD, al estar calculado sólo con la temperatura máxima, y haber experimentado ésta variable un aumento ligeramente inferior a la temperatura mínima, proporciona valores ligeramente inferiores a los restantes (0,022 unidades/año frente a 0,028 unidades/año y 0,029 unidades/año).

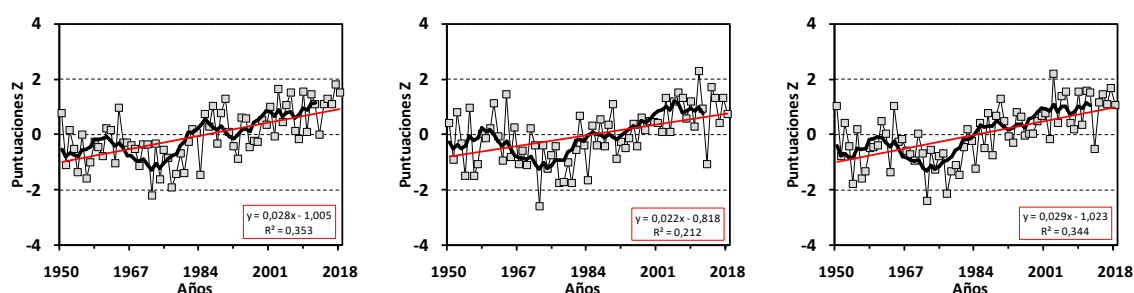


Figura 4.6 Evolución de los índices vitícolas GDD, BEDD y HI. Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por AeMet.

4.2.3. Extremos climáticos

La vid, al igual que otros cultivos, es sensible a las heladas tardías, sobre todo en primavera. La tendencia al calentamiento de las últimas décadas no excluye la posibilidad de heladas tardías rigurosas, que pueden coincidir con nacimiento de los brotes de las vides. Por ejemplo, en la madrugada del día 28 de abril de 2017 tuvo lugar una fuerte helada, alcanzando temperaturas bajo cero que congelaron parte del viñedo de Rioja Alta y Rioja Alavesa, aunque sus efectos fueron contrarrestados por las elevadas temperaturas de los meses siguientes. La graduación alcohólica que se alcanzó fue alta debido a la falta de precipitaciones durante el proceso de maduración y los días

de temperaturas extremas que tuvieron lugar en verano. Esta combinación de factores aceleró la maduración del alcohol. La evolución de la maduración fenólica, que inicialmente estaba descompensada de la maduración alcohólica, junto con las condiciones meteorológicas de final del ciclo, permitió la obtención de una maduración equilibrada, generando vinos de calidad.

El análisis de la evolución de la frecuencia e intensidad de las heladas primaverales (marzo, abril y mayo) en el observatorio de Logroño-Agoncillo aparece en la figura 4.7. En ella se representa tanto la temperatura media de las mínimas, como la mínima absoluta y el número de días de helada (temperatura mínima por debajo de los 0°C). Obsérvese que, pese a la tendencia general al aumento de las temperaturas, no se observa aún una reducción significativa en el número de días de helada, cuya media se sitúa en torno a los 5 días al año. Destaca, por ejemplo, la primavera de 2005, en la que se registró el máximo absoluto de la serie (11 de días de helada y una mínima absoluta de -8°C).

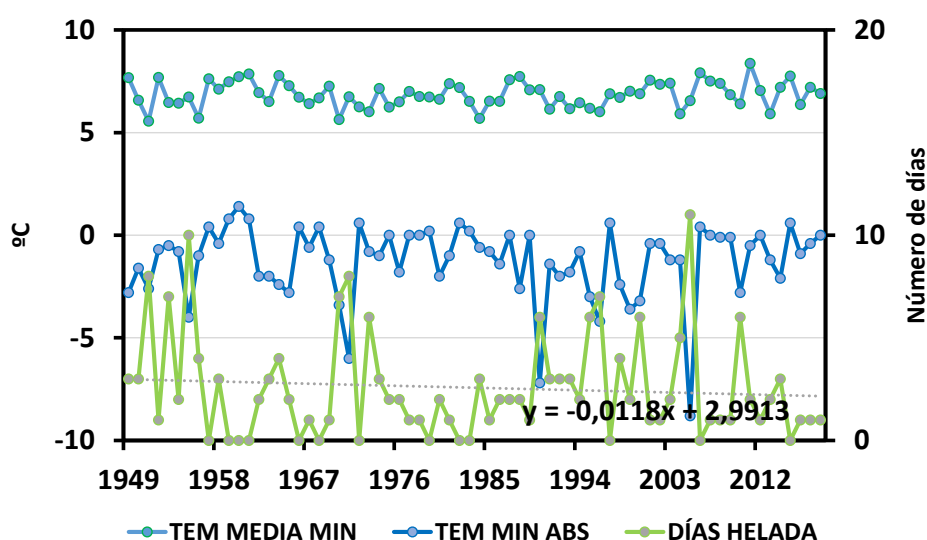


Figura 4.7 Evolución temperatura media mínima, temperatura mínima absoluta y días de helada en la estación de Logroño-Agoncillo en los meses de primavera (marzo, abril y mayo, 1949-2018). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en AeMet.

La vid también es sensible a los periodos prolongados de temperaturas elevadas. La figura 4.8 muestra la evolución de la temperatura media de las máximas, la máxima absoluta y el número de días de ola calor. El aspecto más significativo es el incremento de la frecuencia de días muy cálidos, a partir de los años 80, alcanzando un máximo en

el año 2003, en el que se superaron los 20 días. Este aumento de los días muy cálidos está conectado con el aumento de las temperaturas estivales, pero no tanto con los máximos absolutos de cada año, que mantienen una evolución sin una aparente tendencia definida.

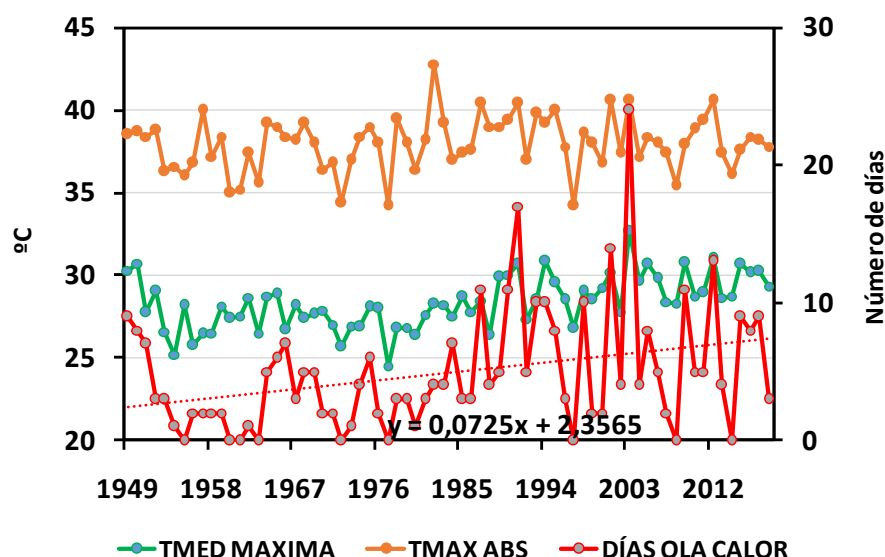


Figura 4.8 Evolución temperatura media máxima, temperatura máxima absoluta y días de ola de calor en la estación de Logroño-Agoncillo en los meses de verano (junio, julio y agosto, 1949-2018). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en AeMet.

4.2.4. Cambios en los recursos hídricos

El aumento de las temperaturas evidenciado en los apartados anteriores podría tener un efecto indirecto importante sobre la vid, al elevar los niveles de evapotranspiración de las plantas. Para conocer cómo han evolucionado las demandas teóricas de agua en la zona de estudio se ha analizado la Evapotranspiración Potencial (ETP) calculada según el método de Penman-Monteith (Figura 4.9). Los resultados muestran una tendencia plana hasta los años 80, y posteriormente un aumento progresivo de la ETP, que en algunos años supera los 1000 mm.

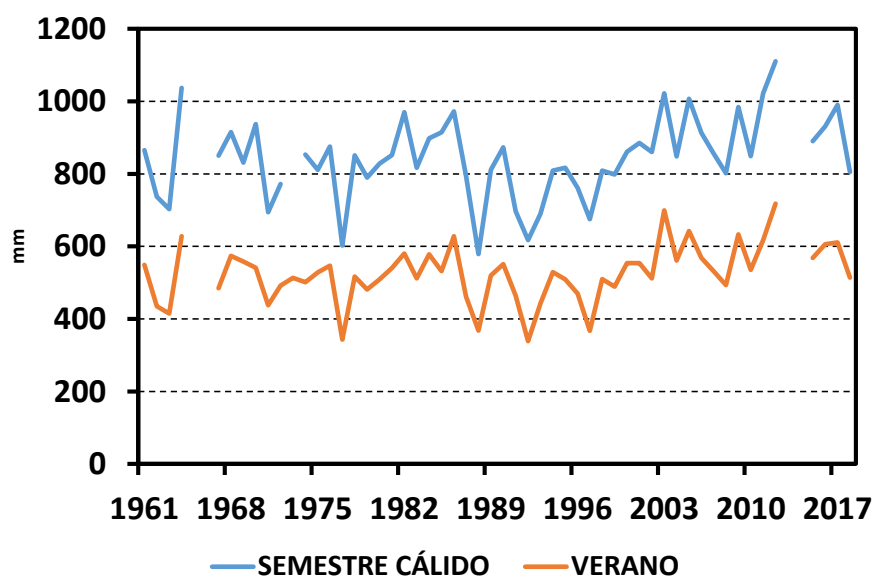


Figura 4.9. Evolución de la ETP durante el semestre cálido (desde abril a septiembre) y durante los meses de verano (junio, julio y agosto) en la estación de Logroño-Agoncillo (1961-2018). Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por ECAD.

Si comparamos los datos de precipitación en Logroño (media anual del periodo 1981-2010, 405 mm) con las ETP potencial calculada previamente obtenemos un déficit hídrico de unos 600 mm en la zona de estudio. Este desequilibrio entre la ETP y las precipitaciones obliga a que una parte de los cultivos, entre ellos la vid, reciban una aportación adicional en forma de agua de riego. Esta agua proviene, en su mayoría, del río Ebro y de los ríos y embalses de cabecera, situados en la vertiente N del Sistema Ibérico. Para analizar la evolución de los recursos hídricos en las últimas décadas, se han utilizado los registros de caudal procedentes de dos estaciones de aforo pertenecientes a la Confederación Hidrográfica del Ebro, en el río Tirón y en el río Cidacos. En la figura 4.10 podemos observar una clara tendencia a la disminución del caudal de los ríos, con dos etapas claramente diferenciadas: una de 1950 a 1980, y otra de 1981 hasta la actualidad. En la primera etapa el caudal medio de ambos ríos se encuentra por encima de lo normal, lo que supone una abundante disponibilidad hídrica. En la segunda etapa se produce una reducción de los caudales bastante acusada, evolución consistente, al menos parcialmente, con el señalado aumento de la temperatura y mayor evapotranspiración experimentada en los últimos años.

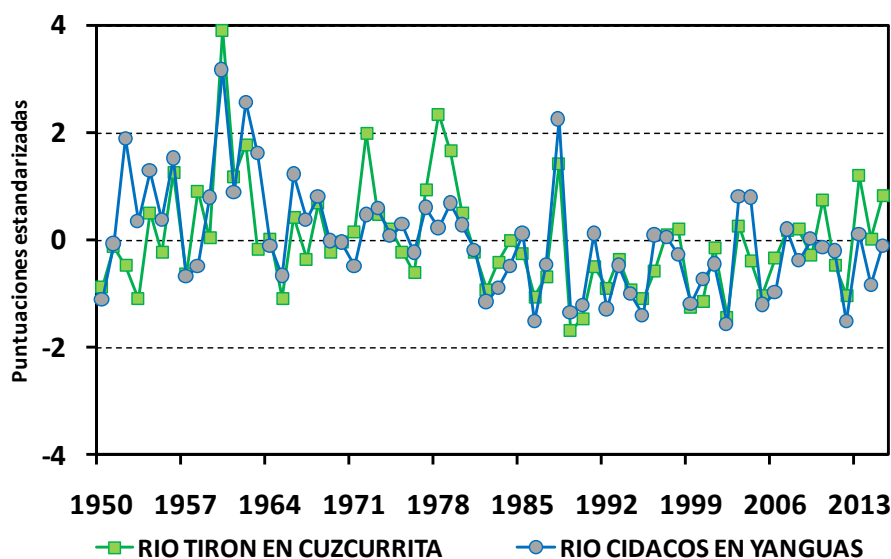


Figura 4.10 Evolución del caudal anual de los ríos Tirón y Cidacos (1950-2015).

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos proporcionados por el CEDEX.

4.3. Influencia de los cambios climáticos recientes en la cantidad y calidad del vino de Rioja

Una vez analizada la evolución climática reciente en La Rioja, el siguiente paso consistió en relacionar esa evolución con diferentes parámetros que reflejan la producción, calidad, composición química del vino y fenología de la vid.

En primer lugar, se analizó la posible relación entre la evolución climática y la producción de uva y vino en los últimos 3 decenios. Como se ha señalado en la figura 4.2, desde mediados del siglo XX se ha producido un aumento de la superficie dedicada al viñedo, y este aumento de la superficie ha estado acompañada de un aumento de la producción de uva y, consecuentemente, de la producción de vino, pero también de los rendimientos por hectárea. La tendencia creciente de los rendimientos puede considerarse una consecuencia de la incorporación de los nuevos métodos de gestión del viñedo, que seguramente estarán relacionados con la mayor presencia de los vinos de Rioja en el mercado internacional, y no tanto con la evolución climática reciente de la región. Esto se pone de manifiesto al correlacionar las series temporales de los índices BEDD e HI entre 1985 y 2017 con los valores correspondientes de producción, elaboración en litros y rendimiento (kg/ha). Obsérvese que en ningún caso los valores alcanzan el umbral de significación.

ÍNDICE (Rho de Spearman)	CORRELACIONES	Producción (kg)	Elaboración amparada (litros)	Rendimiento
BEDD	Coefficiente de correlación	0,27	0,27	0,21
	Sig. (bilateral)	0,14	0,13	0,24
HI	Coefficiente de correlación	0,16	0,14	0,12
	Sig. (bilateral)	0,38	0,45	0,50

Tabla 4.4. Coeficiente de correlación de Pearson y significación estadística de la relación entre índices climáticos y la producción y rendimiento de la vid en La Rioja (1983-2018). Valores superiores a 1,96 son considerados significativos con una probabilidad del 95 %. Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por el Consejo Regulador de la DOCa Rioja.

El segundo aspecto a mencionar es la relación entre la evolución climática y la calidad del vino de Rioja. Este último es un aspecto clave en la posible comercialización del producto, ya que cuanto mayor sea la calidad, mayor competitividad se obtendrá en el mercado internacional. Cabe advertir que la calidad del vino está influida por múltiples factores, entre los que destacan las prácticas de laboreo y las técnicas de elaboración, además de factores naturales como los suelos. Una primera estimación de la evolución reciente de la calidad del vino se obtiene con las añadas (clasificadas en 5 categorías, desde regular hasta excelente, según calificación proporcionada por los consejos reguladores; figura 4.11). Desde 1985 se han sucedido 15 años calificados como buenos, 11 años como muy buenos y 7 años con categoría excelente (1994, 1995, 2001, 2004, 2005, 2010, 2011). Un primer análisis visual confirma que la mayoría de los años con calificación muy buena ocurren desde comienzos del s. XXI, en el que sólo 4 años han tenido una calificación de buena.

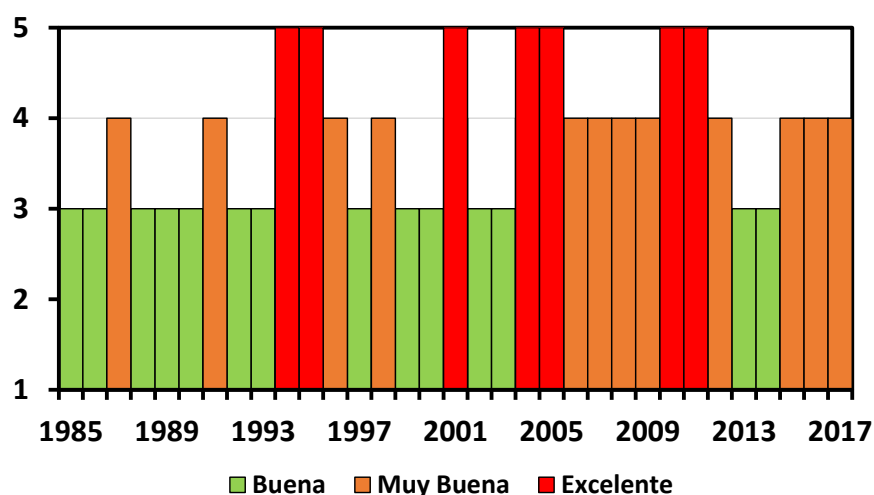


Figura 4.11. Calificación de las añadas (1985-2017). Fuente: Elaboración propia a partir de la información proporcionada por el Consejo Regulador de la DOCa Rioja

Este predominio de las añadas de calidad en los últimos años coincide con la fase de temperaturas elevadas señalada en apartados anteriores. Para determinar si existe algún tipo de relación entre calidad de la añada y condiciones climáticas, se ha calculado el valor medio de los índices vitícolas BDD y HI para cada una de las categorías de las añadas. Los resultados vienen a confirmar que, aun existiendo ligeras diferencias en el valor de esos índices (particularmente en el caso de BDD), la categoría de la añada parece ser indiferente a las condiciones climáticas (figura 4.12).

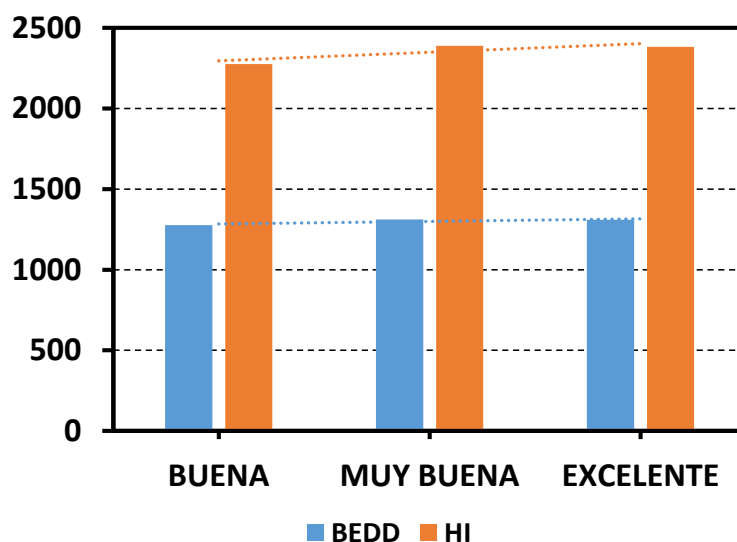


Figura 4.12. Promedio de los valores de los índices vitícolas BEDD y HI según la categoría de la añada. Fuente: Elaboración propia a partir de la información proporcionada por el Consejo Regulador de la DOCa Rioja.

El tercer aspecto relevante en relación con la calidad de los vinos es su composición química, en particular el peso, el contenido alcohólico, el pH y la acidez. De la tabla 4.5 se deduce que la variable peso no tiene relación con ninguna de las otras dos variables, mientras que el contenido de alcohol está estrechamente vinculado tanto al pH como a la acidez, si bien con esta última variable de manera negativa.

	CORRELACIONES	Alcohol	pH	Acidez
Peso	Correlación de Pearson	-0,06	0,08	0,09
	Sig. (bilateral)	0,77	0,69	0,66
Alcohol	Correlación de Pearson		0,86	-0,86
	Sig. (bilateral)		0,00	0,00
pH	Correlación de Pearson			-0,73
	Sig. (bilateral)			0,00

Tabla 4.5. Coeficiente de correlación de Pearson y significación estadística de la relación entre diferentes parámetros relacionados con la calidad del vino (1993-2018). Valores superiores a 1,96 son considerados significativos con una probabilidad del 95 %.

Fuente: Elaboración propia a partir de la información proporcionada por el Consejo Regulador de la DOCa Rioja.

La evolución temporal de los citados parámetros (figura 4.13) indica que, en las últimas décadas, un aumento del alcohol y del pH, junto con una disminución de la acidez de los vinos de Rioja, y que estas tendencias están parcialmente explicadas por el aumento de las temperaturas estivales, como se deduce de la elevada correlación entre esas variables y los índices BEDD y HI (Tabla 4.6). Los veranos cálidos producen vinos de mayor contenido alcohólico y pH, pero menos ácidos. Obsérvese también el impacto de algunos veranos concretos, como los años 2004, 2014 y 2018, relativamente frescos.

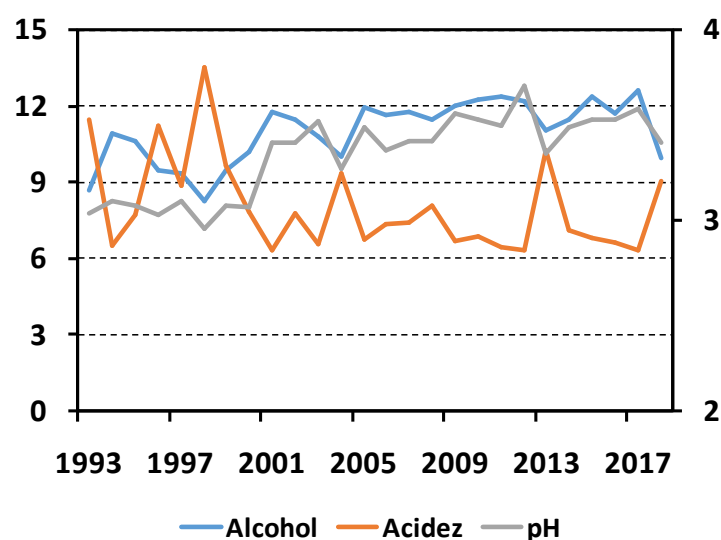


Figura 4.13. Evolución de los componentes químicos del vino de Rioja (1993-2018).

Fuente: Elaboración propia a partir de la información proporcionada por el Consejo Regulador de la DOCa Rioja.

ÍNDICE	CORRELACIONES	Peso	Alcohol	Acidez	pH
BEDD	Correlación de Pearson	0,13	0,56	-0,62	0,57
	Sig. (bilateral)	0,53	0,00	0,00	0,00
HI	Correlación de Pearson	-0,18	0,59	-0,72	0,62
	Sig. (bilateral)	0,40	0,00	0,00	0,00

Tabla 4.6. Coeficiente de correlación de Pearson y significación estadística de la relación entre parámetros relacionados con la calidad del vino e índices climáticos para la viticultura. Fuente: Elaboración propia a partir de la información proporcionada por el Consejo Regulador de la DOCa Rioja.

El ciclo de maduración de la uva experimenta diferentes fases, entre las que se pueden citar el envero y la vendimia. El envero es un cambio en el color de las uvas, que pierden su color verde, resultado de la clorofila. Las variedades tintas se colorean con las antocianinas o pigmentos rojos y azulados, mientras que las variedades blancas se vuelven rubias o amarillas. La tabla 4.7 muestra la correlación entre las fechas de envero y vendimia, con las variables climáticas analizadas previamente y con los mismos indicadores químicos señalados anteriores. De ella se deduce que con menores

temperaturas se adelantan tanto la fecha de envero como la de la vendimia, y esto tiene, como consecuencia, la producción de vinos con menos alcohol y pH y, en contraposición, más acidez.

FASE	CORRELACIONES	MEDIO_ENVERO	VENDIMIA	Peso	Alcohol	Acidez	pH	BEDD	HI
INICIO ENVERO	Pearson	0,42	0,56	0,15	0,02	0,28	0,13	-0,44	-0,51
	Sig. (bilateral)	0,04	0,00	0,48	0,91	0,17	0,54	0,03	0,01
	N	24	25	25	25	25	25	25	25
MEDIO ENVERO	Pearson		0,80	-0,16	-0,66	0,62	-0,74	-0,73	-0,81
	Sig. (bilateral)		0,00	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	N		24	24	24	24	24	24	24
VENDIMIA	Pearson			0,00	-0,44	0,52	-0,39	-0,58	-0,74
	Sig. (bilateral)			0,99	0,03	0,01	0,05	0,00	0,00
	N			25	25	25	25	25	25

Tabla 4.7. Coeficiente de correlación de Pearson y significación estadística entre la evolución temporal de diferentes índices climáticos, composición química del vino y fases fisiológicas de la vid. Elaboración propia a partir de información proporcionada por Bodegas Marqués de Riscal.

Un famoso indicador paleoclimático es la fecha de la vendimia (Chuine et al, 2004). Esta fecha, aunque es el resultado de la relación entre diferentes parámetros, tanto naturales como sociales, está básicamente relacionada con la maduración de la uva, y se determina actualmente mediante una combinación de indicadores tradicionales (impresión visual, tacto, gusto e incluso olor, cata de la uva) junto a otros más recientes (análisis químicos y fisiológicos, modelos matemáticos, etc.). La figura 4.14 muestra la evolución temporal de la fecha juliana de la vendimia en los últimos 25 años en La Rioja.

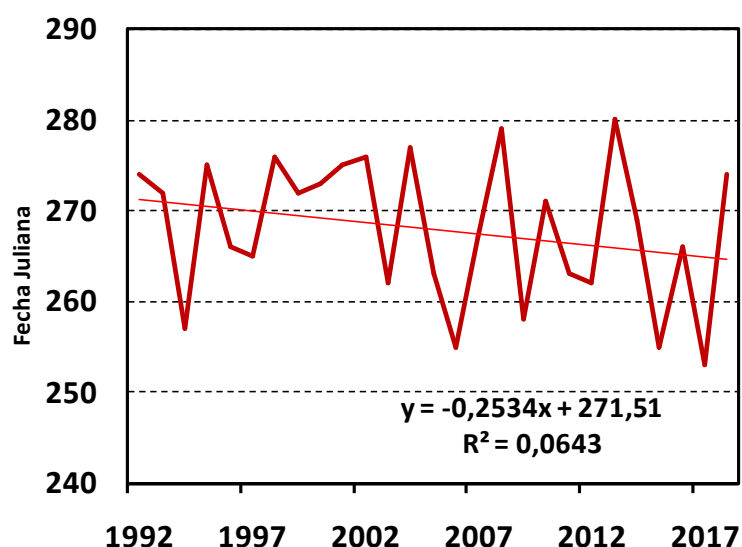


Figura 4.14. Evolución de la fecha de vendimia en La Rioja. Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por Bodegas Riscal.

Obsérvese que se ha producido un adelanto de la vendimia, que es consistente con el aumento de las temperaturas. Aunque existe una gran variabilidad interanual, con vendimias tardías (2008 y 2003) junto con otras muy adelantadas (2015 y 2017), la vendimia se ha adelantado unos 10 días como media.

5. DISCUSIÓN

El peso y la importancia del viñedo en la economía de La Rioja han aumentado considerablemente en las últimas décadas. Esta característica es el resultado de un incremento de la superficie dedicada a la vid y a una mejora de las técnicas de cultivo, que ha conducido a una sensible mejora de los rendimientos y de la calidad de las añadas.

Esta especialización económica es simultánea a un aumento de las temperaturas, particularmente evidente durante el semestre cálido, y un incremento de los valores de varios índices bioclimáticos utilizados en la literatura científica para relacionar el clima y la vid, siguiendo un fenómeno generalizado en todo el NE peninsular (El Kenawy et al, 2013). Como consecuencia de esta tendencia, tanto la composición química como el desarrollo fenológico de la vid está modificándose, lo que se traduce en un acortamiento del periodo de maduración y ciclos de la vid cada vez más breves, por ejemplo un

adelanto en la maduración tecnológica (que afecta a los azúcares y a la acidez) respecto a la maduración fenólica, lo que a su vez incide en el color y la textura en boca. Cuando las condiciones son cálidas, la concentración de azúcares puede dar lugar a vinos de alta calidad, aunque con bajos niveles de antocianos (que aportan color a la uva) y de acidez (Diario La Rioja, 2019). Los caldos con una mayor graduación alcohólica y pH tienen un sabor más fuerte, característica poco apreciada por el consumidor extranjero, principal mercado de los vinos de Rioja.

Diferentes estudios realizados hasta la fecha relacionando la evolución climática regional con las características del vino en diferentes regiones coinciden, en gran medida, con los resultados de este trabajo, señalando a las temperaturas de verano como uno de los principales mecanismos que controla la calidad y la composición del vino, aunque existen diferencias en función de la ubicación de cada área. Por ejemplo, en zonas climáticas frescas, como el valle del Loira (Neethling et al, 2012), Alemania (Bock et al, 2011), Rumanía (Costea et al, 2018), N. de Italia (Tomasi et al, 2011), Suiza (Meier et al, 2018) y Galicia (Lorenzo et al, 2012) el aumento de las temperaturas tiene un efecto positivo sobre la calidad y composición del vino. Por el contrario, en zonas más cálidas, por ejemplo en el Penedés (Ramos et al, 2008; López-Bustins et al, 2014), Duero (Blanco Ward et al, 2019) y Lisboa (Malheiro et al, 2013), el calentamiento tiende a producir vinos de inferior calidad.

La evolución climática regional mostrada en este trabajo es coherente con los diferentes escenarios de cambio climático propuesto para la región. Éstos avanzan un aumento de las temperaturas, cuya magnitud depende de los diferentes escenarios de emisiones, pero que podría oscilar entre los 2°C y los 8°C para los veranos del periodo 2071-2100. Como consecuencia de ello, también es esperable un aumento de las olas de calor y un alargamiento del calor estival, al igual que un aumento de la evapotranspiración potencial, que podría reducir los excedentes hídricos en el suelo.

A escala continental, las principales consecuencias del calentamiento global sobre la viticultura europea serán un progresivo desplazamiento de las zonas actuales de mayor potencial climático vitícola hacia latitudes septentrionales y una contracción de las zonas situadas en latitudes meridionales, en particular alrededor de la cuenca Mediterránea (Moriondo et al, 2013). De hecho, simulaciones acerca del potencial de diferentes regiones españolas señalan una reducción significativa de la mayoría de las regiones vitícolas, salvo en el NW (Galicia; Lorenzo et al, 2016). Desde el punto de

vista del cultivo de la vid, se han citado diferentes efectos potenciales sobre la vid (Diario La Rioja, 2019):

- Variabilidad de la tasa fotosintética: aumenta por concentración de CO₂, y disminuye por aumento de la temperatura.
- Estrés térmico que produce pérdida de pigmentos fotosintéticos.
- Disminución del periodo de vendimia por la antelación de la parada del crecimiento vegetativo durante el proceso de maduración.
- Pérdida del área foliar.
- Variabilidad de las fases de plagas y enfermedades, y aparición de nuevas.
- Descenso de sustancias aromáticas y polifenólicas, disminución de la acidez total, especialmente la málica.

Además de los efectos directos, cabe señalar que el aumento extremo de las temperaturas puede provocar una intensificación del estrés hídrico, incrementando la competencia entre los diferentes usos del agua a escala regional. Hoy en día, la reducida extensión de La Rioja, su pequeña población y unas reservas hídricas considerables, propicia un abastecimiento seguro para todos los usos hídricos de la región, ya que cuenta con los embalses del río Najerilla (embalse de Mansilla) y del río Iregua (embalse de Pajares y embalse de González-Lacasa, también conocido como pantano de Ortigosa o de El Rasillo), que abastecen a la mayoría de los viñedos de La Rioja. Por otro lado, al ser la vid un cultivo leñoso, sólo requiere riego de apoyo durante los veranos secos, para que la uva no se seque, consistente normalmente en dos o tres irrigaciones de 100 litros/m² (información oral proporcionada por D. Ángel Bastida, Jefe del Servicio Técnico de Control de Dominio Público Hidráulico, en la Confederación Hidrográfica del Ebro, en mayo de 2019). En un futuro próximo, esos escenarios hidrológicos proponen estiajes más intensos y prolongados en el tiempo, particularmente durante la primavera y verano. Al mismo tiempo, el aumento de las temperaturas provocará un aumento de la evapotranspiración de las plantas, y, por lo tanto, una necesidad mayor de regadío, en un momento del año en el que los recursos son muy limitados. Todo ello podría suponer problemas de gestión del recurso hídrico en un momento de creciente demanda y competencia entre los diversos usos.

Ante el reto de mantener un cultivo como la vid tan rentable desde el punto de vista económico bajo unas condiciones climáticas tan rigurosas, están empezando a

desarrollarse programas cuyo objetivo es la implantación de medidas de adaptación como herramientas fundamentales para evitar los previsibles efectos negativos derivados de esas condiciones. Por un lado, ante la posibilidad de una reducción de las zonas climáticamente más idóneas para el cultivo de la vid, se plantean diversas alternativas. Una podría ser un desplazamiento altitudinal, plantando viñedos en cotas más altas (Viglet al, 2018; Mihalet al, 2018), dado que un ascenso de 100 metros supone una reducción de la temperatura media de aproximadamente 0,6°C. Para mantener las condiciones actuales, y de acuerdo con los escenarios propuestos, esta medida supondría la plantación de vides en cotas próximas a los 1000 m para el caso de La Rioja. Esta medida podría acompañarse de la instalación de vides en orientaciones diferentes a las actuales; actualmente, se están plantando vides en parcelas experimentales orientadas hacia el E, ya reduce la exposición solar del viñedo por la tarde (información oral proporcionada por D. Esteban Ponce, Responsable de viñedo en Bodegas Marqués de Riscal, en diciembre de 2018). Otras medidas tienen que ver con los cambios en las prácticas de cultivo, ya que unas retrasan la maduración más que otras. Entre las medidas que ya están implementadas se encuentran la reorientación de las hileras de viñas y la separación entre ellas; la realización de deshojes, ya que mediante sistemas de poda se puede manejar la masa foliar para alterar la exposición y aireación a la que se va a someter la vid, mediante las cuales se contribuye al retraso de la maduración; y también se jugaría con la potenciación del riego. Finalmente, cabe señalar la propuesta de la sustitución de las actuales variedades de uva por otras más tardías y resistentes a temperaturas elevadas.

Los cambios en los riesgos climáticos a los que se enfrenta la agricultura, no solo plantean nuevos desafíos ante los que habrá que adaptarse, mediante la introducción de nuevas formas de actuación, también introducen nuevas perspectivas de valoración y medidas de control de la oferta. Los nuevos escenarios que se plantean demandan flexibilidad en los criterios, hasta ahora utilizados por los Consejos Reguladores, para autorizar nuevas plantaciones o cambios en las variedades autorizadas. El aumento de la competitividad de los vinos españoles requiere no solo enfrentarse a unos mercados cada vez más disputados, sino también considerar las interrelaciones con otros riesgos cambiantes y en especial, los riesgos climáticos.

Este trabajo presenta, no obstante, ciertas limitaciones. Por un lado, no se han analizado variables meteorológicas de gran importancia para la agricultura, como es la aparición

de tormentas acompañadas de granizo, que pueden llegar a causar importantes daños a los cultivos. Las tormentas, resultado de la combinación de calor en superficie y aire frío en altura, son frecuentes en el valle del Ebro, y en el caso de La Rioja, la mayoría se forman sobre el Sistema Ibérico, siendo arrastradas hacia el NE. No existen hasta la fecha estudios sobre la evolución de este tipo de situaciones en el futuro, pero cabría señalar que, en un ambiente más cálido generalizado, su frecuencia e intensidad debería incrementarse.

Tampoco se ha analizado el papel del clima sobre la salud de las vides, y en particular, sobre los ciclos de las plagas, que varían en la región según la zona y las condiciones climáticas de cada área. En líneas generales, a medida que nos desplazamos hacia el sureste los ciclos son más frecuentes, en consonancia con el gradiente térmico regional: en La Rioja Media, por ejemplo, se suelen producir dos fases de plagas de polilla al año, mientras que en la Rioja Baja se producen tres (información proporcionada por D. Martín Martínez, de la Sección de Estadística, en la Consejería de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente, en octubre de 2018). Todo ello redunda en una mayor susceptibilidad ante diferentes enfermedades, y un mayor desembolso económico para evitar o limitar su propagación.

6. CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo ha sido el análisis de la relación entre la reciente evolución climática en La Rioja con la producción, calidad, composición química y fenología del vino producido por la DOCa Rioja durante el periodo 1950-2018. Estos resultados pueden servir para ayudar a la implantación de medidas de adaptación y mitigación adaptadas al manejo de la vid.

Para la realización de este objetivo, tanto los datos meteorológicos como los vitícolas fueron sometidos a un control de calidad previo. En el caso de los primeros se seleccionó un conjunto óptimo de estaciones tras verificar la homogeneidad de sus registros, calculándose a partir de ellas cierto número de índices bioclimáticos (GDD, HI y BDD), que fueron comparados con cierto número de parámetros relacionados con el cultivo de la vid (producción, rendimientos, calidad de añadas, contenido alcohólico, pH, fechas de vendimia), utilizando para ello procedimientos estadísticos como el análisis de correlación.

Los resultados muestran que, durante el periodo de estudio, las temperaturas regionales han experimentado una tendencia ascendente, particularmente en verano, más acusada a partir de la década de los años 70, mientras que las precipitaciones no muestran ninguna evolución significativa. Este calentamiento se ha traducido en una reducción de las disponibilidades hídricas y en una mayor probabilidad de días extremadamente cálidos, aunque el riesgo de heladas primaveral no ha experimentado ningún cambio significativo.

Esta evolución climática no parece haber influido en el aumento de la producción y los rendimientos vitícolas, ni tampoco en la progresiva mejora de las añadas, pero sí ha favorecido vinos con mayor contenido alcohólico y pH pero menor acidez, provocando igualmente cambios fenológicos que han adelantado la fecha media de la vendimia.

Este tipo de vinos encuentran una salida más difícil en los mercados internacionales, por lo que, ante el desafío que supone el calentamiento global, la introducción de nuevos métodos de laboreo y trato de la cepa, los avances respecto al control de plagas, la introducción de nuevas variedades y la búsqueda de zonas en cotas más altas para cultivar son medidas de adaptación que deberán expandirse entre los viticultores.

7. ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Índice de figuras

Figura 2.1. Distribución espacial de la vid en el mundo.

Figura 3.1. Territorio productor del vino de Rioja.

Figura 3.2. Climogramas de Anguiano y Logroño.

Figura 4.1. Distribución de la superficie total de viñedo según clases de intensidad.

Figura 4.2. Evolución de la superficie de viñedo y producción de vino de Rioja (1985-2017).

Figura 4.3. Disposición del viñedo en espaldera.

Figura 4.4. Evolución del riego de la vid en La Rioja y del riego por goteo.

Figura 4.5. Evolución de las principales variable climáticas en La Rioja.

Figura 4.6. Evolución de los índices vitícolas GDD, BEDD y HI.

Figura 4.7. Evolución temperatura media mínima, temperatura mínima absoluta y días de helada en la estación de Logroño-Agoncillo en los meses de primavera (marzo, abril y mayo, 1949-2018).

Figura 4.8. Evolución temperatura media máxima, temperatura máxima absoluta y días de ola de calor en la estación de Logroño-Agoncillo en los meses de verano (junio, julio y agosto, 1949-2018).

Figura 4.9. Evolución de la ETP durante el semestre cálido (desde abril a septiembre) y durante los meses de verano (junio, julio y agosto) en la estación de Logroño-Agoncillo (1961-2018).

Figura 4.10. Evolución del caudal anual de los ríos Tirón y Cidacos (1950-2015).

Figura 4.11. Calificación de las añadas (1985-2017).

Figura 4.12. Promedio de los valores de los índices vitícolas BEDD y HI según la categoría de la añada.

Figura 4.13. Evolución de los componentes químicos del vino de Rioja (1993-2018).

Figura 4.14. Evolución de la fecha de vendimia en La Rioja.

Índice de Tablas

Tabla 2.1. Necesidades climáticas de la vid según los periodos de crecimiento.

Tabla 2.2. Consecuencias para la vid de la variación diaria de la temperatura.

Tabla 3.1. Información correspondiente a las estaciones termo-pluviométricas solicitadas a AeMet.

Tabla 3.2. Porcentaje de datos meteorológicos de las estaciones.

Tabla 3.3. Correlación de la variable temperatura entre los diferentes observatorios meteorológicos.

Tabla 3.4. Correlación de la variable precipitación entre los diferentes observatorios meteorológicos.

Tabla 4.1. Características bioclimáticas de algunas zonas vitícolas de la Península Ibérica y Francia.

Tabla 4.2. Coeficiente de correlación de Pearson y significación estadística de la evolución temporal de diferentes variables climáticas.

Tabla 4.3. Coeficiente de correlación de Pearson y significación estadística de la evolución temporal de diferentes índices climáticos para la viticultura.

Tabla 4.4. Coeficiente de correlación de Pearson y significación estadística de la relación entre índices climáticos y la producción y rendimiento de la vid en La Rioja (1983-2018).

Tabla 4.5. Coeficiente de correlación de Pearson y significación estadística de la relación entre diferentes parámetros relacionados con la calidad del vino (1993-2018).

Tabla 4.6. Coeficiente de correlación de Pearson y significación estadística de la relación entre parámetros relacionados con la calidad del vino e índices climáticos para la viticultura.

Tabla 4.7. Coeficiente de correlación de Pearson y significación estadística de la evolución temporal de diferentes índices climáticos, composición química del vino y fases fisiológicas de la vid.

8. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES

Bibliografía

- Arnáez, J.; Ortigosa, L.; Ruiz Flaño, P.; Lasanta Martínez, T. (2006): Distribución espacial del viñedo en la Comunidad Autónoma de La Rioja: influencia de la topografía y de las formas del relieve. *Polígonos. Revista de Geografía*, 16: 11-34.
- Barco Royo, E.; Navarro Pérez, M.C. (2004): Transformación y cambio estructural en la D.O.C. Rioja (1983-2005). *Zubía*, 16-17: 121-138.
- Blanco-Ward, D.; Ribeiro, A.; Barreales, D.; Castro, J.; Verdial, J.; Feliciano, M.; Viceto, C.; Rocha, A.; Carlos, C.; Silveira, C.; Miranda, A. (2019): Climate change potential effects on grape vine bioclimatic indices: a case study for the Portuguese demarcated Douro Region (Portugal). 41st World Congress of Vine and Wine (Disponible en <https://doi.org/10.1051/bioconf/20191201013>)
- Bock, A.; Sparks, T.; Estrella, N.; Menzel, A. (2011): Changes in the phenology and composition of wine from Franconia, Germany. *Climate Research*, 50: 69–81.
- Carbonneau, A. (1998): Irrigation, vigno bleet produits de la vigne. *Traité d'irrigation. Lavoisier*, Paris, 257-276.
- Choné, X.; Van Leeuwen, C.; Dubourdieu, D.; Gaudillère, J.P. (2001): Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. *Annals of Botany*, 87: 477-483.
- Chuine, I.; Yiou, P.; Viovy, N.; Seguin, B.; Daux, V.; Le Roy Ladurie, E. (2004): Historical phenology: grape ripening as a past climate indicator. *Nature*, 18:289-90.
- Coipel, J.; Rodriguez Lovelle, B.; Sipp, C.; Van Leeuwen, C. (2006): Terroir effect, as a result of environmental stress, depends more on soil depth than on soil type. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 40: 177-185.
- Costea, M.; Lengyel, E.; Stegăruș, D.; Rusan, N.; Tăușan, J. (2018): Assessment of climatic conditions as driving factors of wine aromatic compounds: a case study from Central Romania. *Theoretical and Applied Climatology*, 67: 1-16.
- El Kenawy, A.M.; López-Moreno, J.I.; Vicente Serrano, S.M. (2013): Summer temperature extremes in northeastern Spain: Spatial regionalization and links to atmospheric circulation (1960-2006). *Theoretical and Applied Climatology*, 113 (3-4): 387-405.
- Esteves, M.A.; Manso, M.D. (2001): The influence of climatic variability on the quality of wine. *Int J Biometeorol*, (2001) 45:13-21.
- Fernández Seoane, L. (2006): La zonificación bioclimática vitícola como base para la selección de variedades de vid. *GeoFocus*. 6: 1-32.

- Galilea, I.; Arnáez, J.; Lasanta, T.; Ortigosa, L. (2015): Evolución y desfragmentación del paisaje del viñedo en La Rioja Alta (España) en el periodo 1956-2000. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 69: 315-331.
- Gladstones, J.S.(1992): Viticulture and environment. *Winetitles*, Media, Adelaide.
- Gómez Urdáñez, J.L. (2013): El vino de Rioja: Historia y Cultura. Trabajo Fin de Grado, Facultad de Letras y Educación, Logroño, 34 pp.
- Huglin, P. (1978): Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. *Proceedings of the Symposium International sur l' Ecologie de la Vigne*. Ministère de l'Agriculture et de l' Industrie Alimentaire, Contança. pp. 89-98.
- Jones, G.V., Duchêne, E.; Tomasi, D.; Yuste, J.; Braslavska, O.; Schultz, H.R.; Martinez C.; Boso, S.; Langellier, F.; Perruchot, C.; Guimberteau, G. (2005): Changes in European winegrape phenology and relationships with climate. *In Proceedings for the XIVth GESCO Viticulture Congress*. Vol. 1. 523 H.R. Schulz et al. (eds.), pp. 55-61. Geisenheim, Germany.
- Larreina, M.G.; Azaceta, J.; Casado, J.I.; Izco, P.; Entrena, M.; Jiménez, R.; Gaviria, M. (1984): Problemática y posibilidades del vino en La Rioja. *El Campo Riojano*, Cámara Provincial Agraria de La Rioja, 2: 110-129.
- Larreina Díaz, M. (2005): Estudio de la dependencia de la economía riojana del vino de Rioja. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Deusto.
- Larreina Díaz, M. (2011): El vino Rioja, ¿un modelo de éxito sostenible en el futuro? *Cuadernos de Estudios Agroalimentarios*, 1: 11-27.
- Lasanta, T.; Inarejos, V.; Arnáez, J.; Pascual Bellido, N.; Ruiz-Flaño, P. (2016). Evolución del paisaje vitícola en La Rioja (2000-2015): un análisis del papel de los programas de reconversión y reestructuración del viñedo. *Investigaciones Geográficas*, 66: 9-25.
- Lopez-Bustins, J.A.; Pla, E.; Nadal, M.; de Herralde, F.; Savé, R. (2014): Global change and viticulture in the Mediterranean region: a case of study in north-eastern Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 12(1): 78-88.
- Lorenzo, M.; Ramos, A.M.; Brands, S. (2016): Present and future climate conditions for winegrowing in Spain. *Regional Environmental Change*, 16:617–627.
- Lorenzo, M.; Taboada, J.; Lorenzo, J.; Ramos, A. (2012): Influence of climate on grape production and wine quality in the Rías Baixas, north-western Spain. *Regional Environmental Change*, 13: 887-896.
- Malheiro, A.C.; Campos, R.; Fraga, H.; Eiras-Dias, J.; Silvestre, J.; Santos, J.A. (2013): Wine grape phenology and temperature relationships in the Lisbon wine region, *Portugal Journal International Sciences de la Vigne and du Vine*, 4: 287-299.

- Meier, M.; Fuhrer, J.; Holzkämper, A. (2018): Changing risk of spring frost damage in grapevines due to climate change. A case study in the Swiss Rhone Valley. *International Journal of Biometeorology*, 62:991–1002.
- Mihai, L.; Valeriu, C.; Quenol, H.; Sfică, L.; Foss, C. (2018): Shifts in climate suitability for wine production as a result of climate change in a temperate climate wine region of Romania. *Theoretical and Applied Climatology*, 131:1069–1081.
- Mori, K.; Goto Yamamoto, N.; Kitayama, M.; Hashizume, K. (2007): Loss of anthocyanins in red wine grape under high temperature. *Journal of Experimental Botany*, 58(8): 1935-1945.
- Moriondo, M.; Jones, G.V.; Bois, B.; Dibari, C.; Ferrise, R.; Trombi, G.; Bindi, M. (2013): Projected shifts of wine regions in response to climate change. *Climatic Change*, 119 (3–4): 825–839.
- Neethling, E.; Barbeau, G.; Bonnefo, C.; Quéno, H. (2012): Change in climate and berry composition for grape vine varieties cultivated in the Loire Valley. *Climate Research*, 53: 89–101.
- Pascual Bellido, N.; Cabrerizo Cristóbal, A. (1995): Distribución espacial del viñedo de Rioja en relación con los condicionantes ambientales. *Berceo*, 129: 75-95.
- Piqueras Haba, J. (2005): La filoxera en España y su difusión espacial: 1878-1926. *Cuadernos de Geografía*, 77: 101-136.
- Ramos, M.C.; Jones, G.V.; Martínez-Casasnovas, J.A. (2008). Structure and trends in climate parameters affecting wine grape production in northeast Spain“. *Climate Research*, 38: 1–15.
- Raso, J.M.; Martín Vide, J.; Clavero, P. (1987): Estadística básica para ciencias sociales. *Ariel*, Barcelona, 238 pp.
- Resco Sánchez, P. (2015): Viticultura y cambio climático en España. Vulnerabilidad en las distintas regiones y estrategias de adaptación frente al desarrollo de nuevas políticas. Tesis Doctoral, E.T.S.I. Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid.
- Riquelme, F.J.; Ramos, A.B. (2005): Land and water use management in vine growing by using geographic information systems in Castilla La Mancha, Spain. *Agricultural and Water Management*, 77: 82-95.
- Ruiz Pulpón, A.R. (2013): El viñedo en espaldera: nueva realidad en los paisajes vitícolas de Castilla - La Mancha. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 63: 249-270.
- Santos, J.A.; Malheiro, A.C.; Pinto, J.G.; Jones, G.V. (2012): Macroclimate and viticultural zoning in Europe: observed trends and atmospheric forcing. *Climate Research*, 51: 89–103.

- Tomasi, D.; Jones, J.V.; Giust, M.; Lovat, L.; Gaiotti, F. (2011): Grapevine Phenology and Climate Change: Relationships and Trends in the Veneto Region of Italy for 1964-2009. *American Journal of Enology and Viticulture*, 62: 329-339
- Tonietto, J.; Sotés Ruiz, V.; Gómez Miguel, V.D. (2012): Clima, zonificación y tipicidad del vino en regiones vitivinícolas iberoamericanas. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, CYTED. Madrid.
- Tonietto, J.; Carbonneau, A. (2004): A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124:81-97.
- Urbano Espinosa (2017): Orígenes de la cultura vitivinícola en La Rioja (Disponible en <http://cofradiadelvinoderioja.com/wp-content/uploads/2017/12/2017-04-28-Urbano-Espinosa-Origen-cultura-vitivinicola-en-La-Rioja.pdf>)
- Vigl, L.; Schmid, A.; Moser, F.; Balotti, A.; Gartner, E.; Katz, H.; Quendler, S.; Ventura, S.; Raifer, B. (2018): Upward shifts in elevation – a winning strategy for mountain viticulture in the context of climate change. XII Congreso Internacional Terroir (Disponible en https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2018/25/e3sconf_terroircongress2018_02006/e3sconf_terroircongress2018_02006.html)

Fuentes

- La Rioja (2019): *La maduración de la uva se acelerará y existe un riesgo de pérdida de calidad*. La Rioja, Logroño, domingo 13 de enero de 2019. Disponible en junio de 2019, en: <https://www.larioja.com/la-rioja/vinedo-rioja-la-maduracion-20190113004225-ntvo.html>
- Consejo Regulador DOCa Rioja (2019): Estadística 2018. El Rioja en cifras. Disponible en junio de 2019, en: https://www.riojawine.com/wp-content/uploads/1/2019/04/ESTADISTICAS_Rioja_2018.pdf
- Geoviticulture MCC System (2019). Disponible en junio de 2019, en <http://www.cnpuv.embrapa.br/ccm/consulta.en.php>
- Visor de Escenarios de Cambio Climático (2019). Disponible en junio de 2019, en <http://escenarios.adaptecca.es>
- Catadelvino.com (2019). Disponible en junio de 2019, en <https://www.catadelvino.com/blog-cata-vino/cuales-son-las-zonas-climaticas-aptas-para-el-cultivo-de-la-vid>
- European Climate Assessment and Dataset (2019). Disponible en junio de 2019, en <http://www.ecad.eu>
- Anuario de Aforos. Centro de Estudios y Experiencias (CEDEX). Disponible en junio de 2019 en <http://ceh-flumen64.cedex.es/anuarioaforos/default.asp>

AEMET, 2018: Olas de calor en España desde 1975. Disponible en junio de 2019, en http://www.aemet.es/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/estudios/detalles/olascalor

VitiViniCultura (2019). Disponible en junio de 2019, en <http://www.VitiViniCultura.net>